

10486  
TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE

DES

# MOTEURS A GAZ

## A ESSENCE ET A PÉTROLE

PAR

**Aimé WITZ**

Hommage  
de l'auteur

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES, DOCTEUR ÈS SCIENCES  
DOYEN HONORAIRE DE LA FACULTÉ LIBRE DES SCIENCES DE LILLE  
LAURÉAT DE L'INSTITUT (PRIX MONTYON DE MÉCANIQUE)  
DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE (PRIX SCHNEIDER)  
ET DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT (MÉDAILLE D'OR)  
CORRESPONDANT DE L'INSTITUT

---

5<sup>e</sup> Edition, entièrement remaniée et mise à jour

---

TOME II

Monographies — Gazogènes — Carburateurs  
Moteurs à gaz, à essence et à pétrole, à 4 et 2 temps  
Moteurs Diesel et semi-Diesel — Moteurs d'automobilisme et d'aviation  
Applications



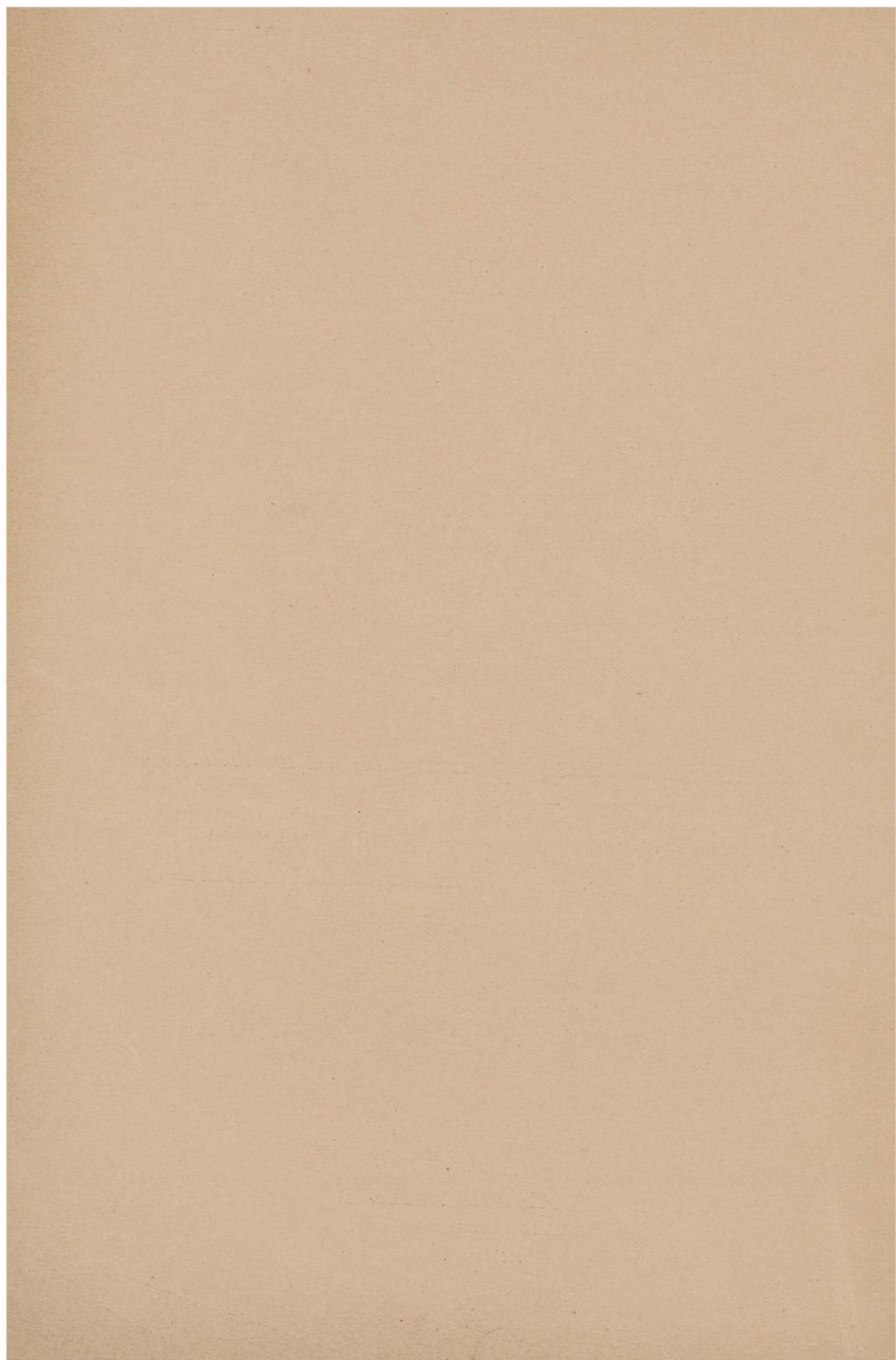
PARIS

ALBIN MICHEL, ÉDITEUR

22, RUE HUYGHENS, 22

1923







**SOCIÉTÉ FRANÇAISE  
DE MATÉRIEL AGRICOLE ET INDUSTRIEL**

à VIERZON (Cher). — Téléphone : 29

Agence à Paris, 5, Rue Boudreau. Téléphone : Central 94-37

---

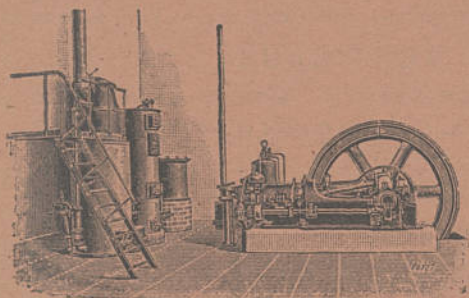
**MOTEURS A GAZ PAUVRE**

**GAZOGÈNES A BOIS**

**DÉCHETS DE BOIS**

**:: A ANTHRACITE ::**

---



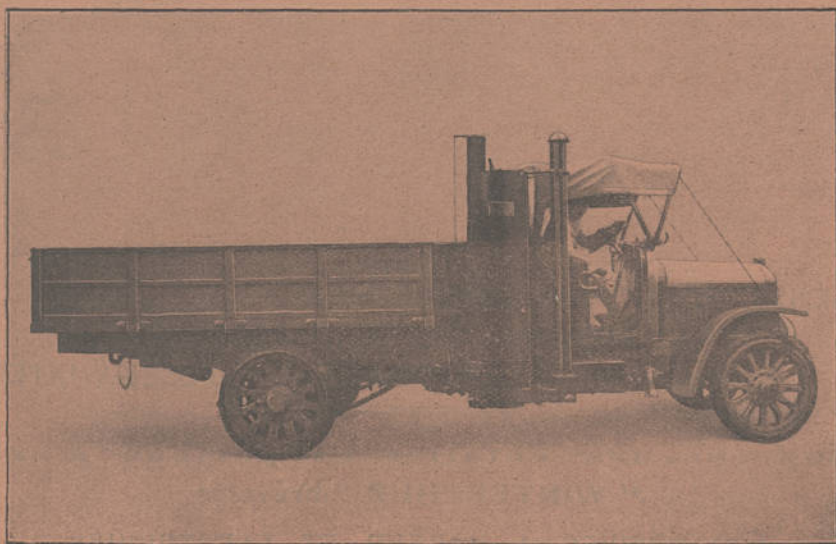
**MOTEURS A ESSENCE**

---

**GAZOGÈNES POUR CAMIONS ET TRACTEURS**

**A BOIS ET CHARBON DE BOIS**

**Économie sur l'essence 80 0/0**



Camion Saurer équipé au Gaz pauvre.



**SOCIÉTÉ SUISSE POUR LA CONSTRUCTION DE LOCOMOTIVES ET DE MACHINES**

# **WINTERTHUR**

**Georges ANGST, INGÉNIEUR E. C. P. CONCESSIONNAIRE EXCLUSIF**

**PARIS, 2, rue de Vienne, 2, PARIS (8<sup>e</sup>)**

---

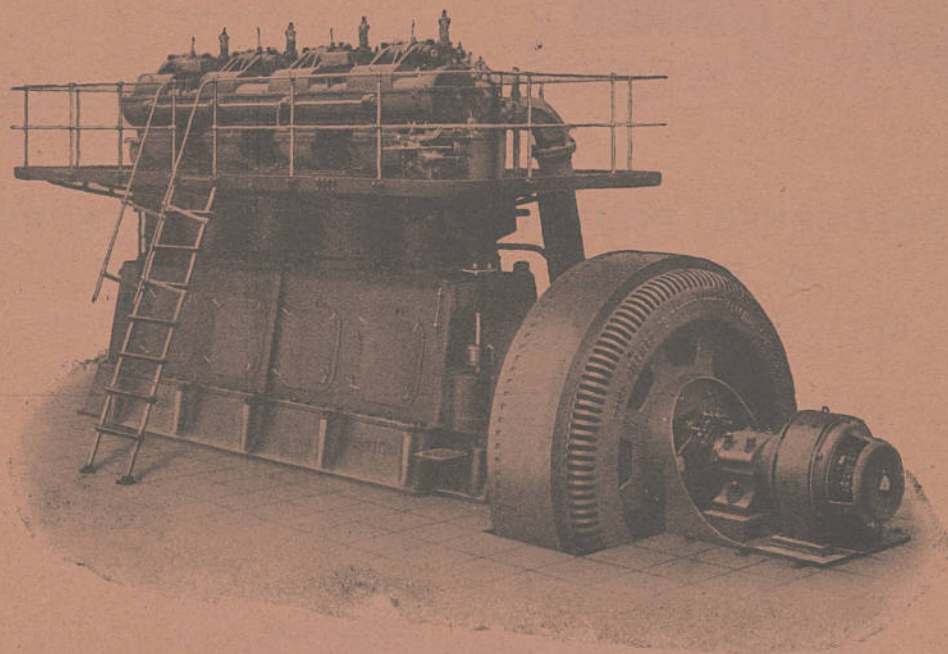
## **MOTEURS WINTERTHUR**

**GAZ VILLE -- GAZ PAUVRE -- PÉTROLE BRUT**

**HORIZONTALS -- VERTICAUX**

**RÉGULARITÉ DE MARCHE ABSOLUE ET GARANTIE  
FORCE MOTRICE LA PLUS ÉCONOMIQUE**

---



**GAZOGÈNES POUR TOUS COMBUSTIBLES**

**MOTEURS DIESEL-WINTERTHUR**

**MOTEURS SEMI-DIESEL-WINTERTHUR**

---

**Compresseurs rotatifs et pompes à vide**

**" WINTERTHUR " brevetés**

**LOCOMOTIVES A VAPEUR ET ÉLECTRIQUES**

**à adhérence, à crémaillère et mixtes.**

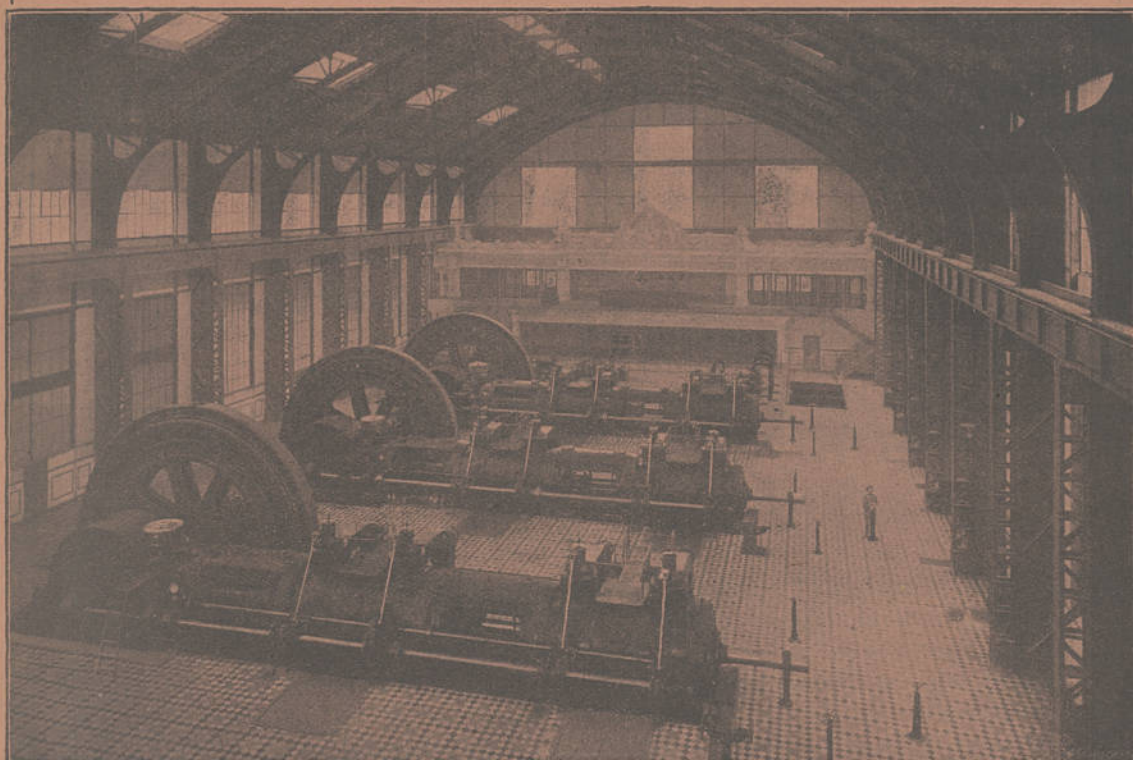


# **SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES**

BELFORT — MULHOUSE — GRAFFENSTADEN

## **Moteurs à gaz de grande puissance**

pour gaz de hauts fourneaux, de fours à coke et de gazogènes



Station centrale à gaz. — 5 Groupes électrogènes de 2.400 Chevaux

**Soufflantes à gaz pour hauts fourneaux et aciéries**

**Groupes électrogènes à gaz**

**Installations complètes de centrales à gaz**

avec **Épuration de gaz** (brevets Theisen)

**Récupération des eaux de lavage**

au moyen des **Bassins de décantation** (brevets Neustadt)

et **transport pneumatique des boues**

**Chaudière de récupération pour gaz d'échappement**



ÉDITIONS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES  
PARIS - 22, Rue Huyghens -:- ALBIN MICHEL -:- 22, Rue Huyghens - PARIS

E. BRÉHIER

TRAITÉ PRATIQUE  
DE LA  
**CHAUDRONNERIE INDUSTRIELLE**

en Cuivre et en Fer

Outillage. — Tracés et Coupes  
Construction des appareils industriels

Un volume broché in-8° jésus de 636 pages, avec 447 figures, de nombreux tableaux  
et 17 planches d'outillage et de machines-outils. Prix ..... 30 francs

AVERTISSEMENT

*En raison du grand nombre d'Industries auxquelles la chaudronnerie prête un concours important, il arrive très souvent que les Ingénieurs se trouvent aux prises avec des difficultés qui sont du domaine du chaudronnier.*

*Il est donc important pour eux de se familiariser avec ces difficultés en puisant dans un ouvrage spécial les renseignements qui peuvent être utiles. Nous avons donc pensé, sans prétention aucune, rendre service à MM. les Ingénieurs et Chefs d'Industries en les faisant profiter des conseils qu'a pu nous inspirer une expérience de plus de quarante années de pratique dans la chaudronnerie industrielle. D'autre part, nous avons cru qu'il serait utile de permettre à l'ouvrier chaudronnier expérimenté, en raison des connaissances particulières que demandent les progrès constants de l'Industrie, de pouvoir recourir aussi à un ouvrage spécial chaque fois qu'il aurait à constituer ou installer un appareil ou à résoudre une difficulté nouvelle dans son travail.*

*De tels ouvrages deviennent indispensables pour compenser les effets de la spécialisation du travail et donner des connaissances techniques d'ordre général qui ne sont jamais inutiles dans l'exercice de toute profession.*

*Cette quatrième édition comporte de nouveaux chapitres sur la soudure autogène, sur l'application du décret de 1907 au sujet des générateurs et appareils de vapeur, et en outre des tracés de coupes intéressantes au point de vue fondamental et de nombreuses figures explicatives.*

*Nous sommes certains que cette nouvelle édition rendra plus de services encore que les précédentes et, ce qui en est la preuve, rencontrera au moins le même succès.*



*Société Industrielle  
du Nord de la France*

Hommage  
de l'auteur

*ainé wity*

TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE  
DES  
MOTEURS A GAZ  
A ESSENCE ET A PÉTROLE



1881

1882

1883

1884

1885

IRHIS / LILLE 3

FONDS Société industrielle

CHRN - FSI 68

TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE

DES

# MOTEURS A GAZ

A ESSENCE ET A PÉTROLE

PAR

Hommage  
de l'auteur

AIMÉ WITZ

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES, DOCTEUR ÈS SCIENCES  
DOYEN HONORAIRE DE LA FACULTÉ LIBRE DES SCIENCES DE LILLE  
LAURÉAT DE L'INSTITUT (PRIX MONTYON DE MÉCANIQUE)  
DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE (PRIX SCHNEIDER)  
ET DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT (MÉDAILLE D'OR)  
CORRESPONDANT DE L'INSTITUT

---

5<sup>e</sup> Édition, entièrement remaniée et mise à jour.

---

TOME II

Monographies. — Gazogènes. Carburateurs.

Moteurs à gaz, à essence et à pétrole, à 4 et 2 temps.

Moteurs Diesel et semi-Diesel. — Moteurs d'automobilisme et d'aviation.

Applications.



PARIS

ALBIN MICHEL, ÉDITEUR

22, RUE HUYGHENS, 22

1923







# TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE

DES

## MOTEURS A GAZ, A ESSENCE ET A PÉTROLE

---

### CHAPITRE IX

---

#### LES CARBURATEURS

---

Un *carburateur* est un appareil destiné à saturer l'air de vapeurs inflammables et à fabriquer un mélange tonnant, susceptible d'alimenter les moteurs à gaz.

Son rôle, particulièrement complexe, est très difficile : il doit opérer la gazéification complète du liquide carburant, assurer son mélange avec l'air comburant dans la proportion qui convient, maintenir cette proportion dans les conditions diverses du liquide carburateur et du moteur à desservir, tout en produisant un fluide d'une parfaite homogénéité et en quantité suffisante.

On commença par faire passer l'air aspiré par le moteur à travers le liquide carburant; ce procédé entraînait d'abord les éléments les plus volatils et le mélange, très riche au début, s'appauvissait rapidement, le liquide ne renfermant plus que des huiles lourdes, qui ne se vaporisaient plus. Ces appareils, dits à *barbotage* ou à *léchage* ont disparu aujourd'hui et nous n'en parlons ici que pour mémoire. Leur fonctionnement reposait sur une saturation statique de l'air par les essences, opération exclusivement physique, qu'il était impossible de régler, pour des liquides hétérogènes, tels que sont les essences de pétrole du commerce.

Les carburateurs actuellement en usage font intervenir des actions physiques et des actions mécaniques; ce sont des appareils d'entraînement, du type des injecteurs et des trompes; ils ont reçu le nom de carburateurs à *giclage*. Le mélange explosif est produit par l'injection dans l'air d'un liquide, jaillissant en vertu d'une dépression qui résulte de l'appel du moteur; le liquide est débité par un orifice étroit, sinon capillaire, sous forme de jets extrêmement ténus, qui constituent un brouillard composé de fines gouttelettes. Il est nécessaire



que celles-ci se vaporisent, sinon elles se déposeraient sur les parois du cylindre moteur et brûleraient mal. On obtient ce résultat par un réchauffement convenable du mélange, accompagné d'un brassage énergique.

Un carburateur joue donc un double rôle; c'est d'abord et avant tout un doseur d'essence, puis subsidiairement un vaporisateur; cet effet s'achève généralement en dehors de lui, dans la zone aval du gicleur; il exige un apport de chaleur de l'extérieur, sinon il y aurait un abaissement de température, aboutissant à une production de givre et de glace, en vertu de la chaleur latente de changement d'état du liquide.

La carburation est une opération ingrate à tous égards : elle a pris une importance croissante à mesure que la puissance des moteurs à desservir s'est accrue; un moteur de 500 chevaux consomme près de 170 litres d'essence à l'heure et doit recevoir plus de 1.900 mètres cubes de mélange combustible. Or, on a construit sur la fin de la guerre des avions dont les moteurs développaient près de 1.200 chevaux; on a pu dire qu'ils emportaient avec eux dans les airs une véritable usine à gaz.

Un des principaux obstacles à une bonne carburation réside dans les changements du régime de fonctionnement des moteurs, de puissance et de vitesse variables : le carburateur devrait agir automatiquement et suffire aux alternatives diverses du service qu'il doit assurer, en maintenant toujours les conditions d'une bonne combustion dans le cylindre.

Il faut aussi que le carburateur s'accommode des variations de qualité de l'essence qui lui est servie. Une différence de densité du carbure exerce une influence sensible sur l'action du gicleur; d'après la loi de Poiseuille, le débit d'un ajutage capillaire est proportionnel à l'inverse des densités du liquide. Il serait donc, toutes choses égales d'ailleurs, égal à 1,45 pour de l'essence, et à 1,15 pour du benzol ou de l'alcool : l'écart est de plus de 25 %.

La température est une autre cause de perturbation d'un carburateur. L'essence s'écoule par un orifice étroit avec une vitesse d'autant plus grande que la température est plus élevée. Il résulte en effet des travaux de M. Sorel qu'un même gicleur, débitant, sous une même pression, de l'essence de densité 0,72 en fournira 20 % de plus à 40° qu'à la température de 15° qui est généralement celle de l'ambiant.

Au point de vue dynamique, la différence de poids spécifique du liquide et de l'air complique le fonctionnement du système carburateur-moteur. L'air présente une force d'inertie négligeable au regard de celle de l'essence; il en résulte que les deux fluides répondent différemment à l'appel du moteur. Au bout de la course du piston, l'afflux de l'air s'arrête aussitôt, alors que le liquide continue son mouvement; au début de l'aspiration qui suit, l'air arrive immédiatement; le liquide paresseux se fait désirer.

Quand on s'élève dans l'atmosphère, la densité de l'air devient plus faible et la puissance du moteur baisse. Le poids d'air aspiré par le piston est propor-



tionnel à sa densité, et le poids d'essence entraîné varie sensiblement avec la racine carrée de la densité de l'air : il en résulte qu'aux grandes altitudes le mélange devient trop riche en essence. Une correction s'impose. On crée, par un moyen quelconque, une dépression dans le réservoir à niveau constant, ce réservoir étant hermétiquement fermé.

I

## ÉLÉMENTS D'UN CARBURATEUR

Ces préliminaires posés, nous allons procéder à un examen sommaire des organes essentiels des carburateurs, avant de passer à leur monographie spéciale.

Un carburateur comprend essentiellement un réservoir à niveau constant, un gicleur et un dispositif de réglage de l'air.

Pour qu'un gicleur ait un débit régulier, il faut que la dépression qui s'y produit soit elle-même constante. Or, cette dépression est surtout fonction de la différence entre le niveau de l'essence dans le tube et son orifice supérieur. Un réservoir dont le niveau reste constant maintient constante cette différence.

Un réservoir à niveau constant est constitué par un vase de petite dimension relative, renfermant un flotteur qui agit sur un dispositif empêchant le liquide de dépasser un niveau déterminé : ce dispositif est généralement un pointeau. Le flotteur serait formé d'un bloc de liège, si cette substance ne s'imbibait de liquide et ne se désagrègeait; on a été amené à lui donner la forme d'un cylindre creux, en laiton mince soudé à l'étain, dont on peut garantir l'étanchéité. Il est indispensable que ce flotteur prenne un mouvement très lent, sinon il donnerait lieu à des arrivées tumultueuses d'essence, qui nuiraient à la conservation de l'appareil. Le niveau doit être maintenu quelle que soit l'inclinaison du réservoir : cette condition s'impose absolument pour les avions, mais on cherche aussi à la réaliser pour les voitures qui roulent sur le dévers des routes, ou escaladent des côtes à forte déclivité.

Toujours les réservoirs sont pourvus d'un poussoir à ressort traversant leur couvercle et permettant de maintenir le flotteur à son point bas, de manière à le noyer momentanément, lors de la mise en marche du moteur; pour lui assurer l'excès d'essence dont il a besoin au démarrage, on agit à la main sur le poussoir.

Souvent, on adjoint au flotteur des ressorts ou des contrepoids amortisseurs ayant pour objet d'atténuer les effets des cahots.

Inutile de dire qu'il y a un réglage à faire du flotteur d'après la densité du liquide carburant employé.



Nous avons dit que le mouvement du flotteur commande celui de l'obturateur du liquide : cet obturateur est généralement un pointeau, quelquefois ce sont des soupapes sphériques. La commande diffère suivant que l'essence arrive au réservoir par-dessus ou par-dessous; elle se fait directement ou bien à l'aide de balanciers ou de leviers, dont les dispositions peuvent varier à l'infini.

Il est indispensable d'installer un filtre entre le réservoir et le gicleur, pour arrêter les particules solides qui peuvent souiller l'essence : on emploie des toiles métalliques ou des crépines. Des bouchons à air permettent le nettoyage ou le débouchage des organes, en cas d'obstruction.

Le gicleur est une simple tubulure cylindrique, vissée sur le conduit d'essence : elle se termine à sa partie supérieure par un ajutage plus ou moins capillaire, de section correspondante à la consommation normale du moteur et à la dépression d'aspiration, ce qui exige un travail très précis, au dixième de millimètre près. Une section trop forte nuit à la pulvérisation du liquide, une section trop faible crée une résistance trop grande : le juste milieu est, comme toujours, la perfection, mais celle-ci est d'une réalisation malaisée et assez aléatoire.

L'ajutage est remplacé quelquefois par un champignon de forme bien étudiée pour obtenir la meilleure diffusion possible. Des inventeurs ont recouru à deux ajutages, inclinés l'un sur l'autre, dont les jets se heurtent et se brisent et assurent une excellente pulvérisation des gouttelettes.

Le nettoyage du gicleur doit être facile, donc son démontage, car des obstructions sont à prévoir, malgré les filtres; il peut même se produire une congélation de l'eau, qui accompagne souvent l'essence.

Dans certains appareils, le jet d'essence est perpendiculaire aux veines d'air, et cette disposition semble la meilleure; mais on recourt aussi à des jets dirigés dans le sens de l'air ou bien à contresens. L'air pénètre dans le carburateur par deux orifices, de sections calculées pour correspondre toujours à la quantité d'essence nécessaire strictement à une faible allure et éventuellement à celle qu'exige une allure plus ou moins accélérée. L'arrivée de l'air additionnel est d'ordinaire réglée à la main; on préfère quelquefois un réglage automatique, effectué par une soupape à ressort ou par un piston libre, se déplaçant sous l'influence de l'aspiration du moteur : il faut craindre de troubler l'équilibre de la soupape d'admission, quand celle-ci n'est pas commandée.

Le réchauffage de l'air a été longuement discuté. Il est nécessaire assurément pour compenser les dépenses de chaleur correspondantes au changement d'état du liquide volatil; mais l'admission d'un mélange trop chaud au cylindre aurait pour contre-partie une diminution de la charge et une réduction de la compression préalable à l'explosion, donc une perte de puissance et de rendement. En conséquence, le réchauffage doit rester modéré. On a commencé par le pratiquer en utilisant la chaleur des gaz de l'échappement, mais on en est venu bientôt à employer l'eau chaude de l'enveloppe du moteur, que l'on fait circuler



autour du carburateur. Ce dispositif assure une température plus régulière; mais il est inopérant à la mise en route, car l'eau n'atteint sa température normale qu'au bout d'un quart d'heure au moins de fonctionnement; de plus, il n'est possible qu'avec une pompe de circulation d'eau.

Quand on emploie l'alcool, dont la chaleur de vaporisation est plus grande que celle du benzol (190 calories au lieu de 105 à 115), le réchauffage demande à être pratiqué avec plus de soin.

L'air, carburé par le gicleur, traverse une capacité, appelée chambre de carburation, dont l'influence est très grande sur l'homogénéité du mélange et la vaporisation des gouttelettes : elle diffuse le combustible dans le carburant, en brasse les éléments et parfait le changement d'état des gouttelettes liquides en vapeur. Il y eut un temps où l'on encombrait cette capacité de chicanes de tout genre, auxquelles on a renoncé. C'est la forme de la chambre qui présente le plus d'intérêt : l'expérience a conduit à lui donner une forme conique, qui donne lieu à une contraction de la veine gazeuse avec le minimum de perte de charge; on a aussi reconnu que le volume de la chambre devait être déterminé en fonction du débit du gicleur. Dans le même ordre d'idées, on a été amené à interposer entre le carburateur et le moteur une tubulure assez longue, qui atténue la vivacité des appels de l'aspiration et constitue une réserve, augmentant la régularité et l'élasticité du fonctionnement. Ces effets sont plus marqués pour l'alcool que pour l'essence : l'alcool a une moindre vitesse d'évaporation et il faut lui donner le temps de s'effectuer.

Ces considérations générales s'appliquent à tous les systèmes de carburateurs; elles nous permettent d'esquisser un essai de théorie de leur fonctionnement.

## II

### THÉORIE DU FONCTIONNEMENT DU CARBURATEUR

On peut se rendre compte assez simplement des conditions dans lesquelles s'effectuent la pulvérisation et la vaporisation du liquide carburant.

La vitesse de l'écoulement de l'air, produite par une dépression  $h$ , résultant de l'appel du piston moteur, est fonction de  $\sqrt{2g \frac{h}{d}}$ ,  $d$  étant la densité de l'air; le débit en poids est par suite donné par la formule :

$$Q = S d \sqrt{2g \frac{h}{d}} = S \sqrt{2g h d},$$

dans laquelle  $S$  est la section de l'orifice d'entrée de l'air, marqué par la lettre  $C$ , sur la figure 114.



Le débit du liquide par le gicleur se calcule de même, en substituant à  $h$  la différence  $h - e$ ,  $e$  étant la distance du niveau supérieur du liquide à l'extrémité de l'ajutage; si nous appelons par conséquent  $s$  la section de cet ajutage, et  $\delta$  la densité du liquide, nous aurons pour le débit  $Q'$  du liquide :

$$Q' = s \delta \sqrt{2g \frac{(h-e)}{\delta}} = s \sqrt{2g(h-e)\delta}.$$

Or, la condition première du bon fonctionnement d'un carburateur est une proportionnalité constante de ces deux débits; il faut donc que :

$$\frac{S \sqrt{h d}}{s \sqrt{(h-e)\delta}} = \text{constante} = K.$$

Il en résulte que :

$$S = s \sqrt{\frac{\delta}{d} \frac{(h-e)}{h}} \times K.$$

Nous voyons par suite que la section d'arrivée de l'air  $S$  dépend de la valeur de  $h$ , laquelle varie avec l'allure du moteur et croît avec elle.

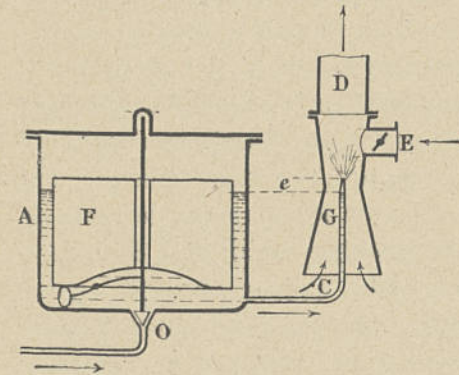


Fig. 114. — Schéma d'un carburateur.

Cette formule démontre donc la nécessité d'une introduction supplémentaire d'air par l'orifice latéral  $E$  et l'obligation de pouvoir la régler selon le besoin du moteur.

De plus, les valeurs de  $S$  et de  $s$  sont liées l'une à l'autre par la condition de la quantité relative de l'air comburant et du liquide combustible. On peut dire que pour fournir au moteur une cylindrée de 1 litre, il faut à peu près  $1/10^e$  de centimètre cube d'essence ou 1,4 dixième d'alcool dénaturé. On satisfait le plus souvent à cette condition en modifiant la section du gicleur, d'après le liquide carburant mis en œuvre : elle sera moindre pour l'alcool que pour l'essence.

On pourrait aussi agir sur la valeur de  $e$  : elle n'est jamais que de quelques millimètres.

L'influence de la température ne se marque dans la formule qu'implicitement, par la variation des densités, qui en est la conséquence. Le conducteur du moteur dispose de certains réglages, qu'il effectue à la main, pour maintenir la constance des débits relatifs d'air et de liquide, et assurer une bonne marche à sa machine.

La pratique des conducteurs d'autos et des pilotes d'avions leur a fait constater que tous les carburateurs, où l'air auxiliaire est commandé par une manette spéciale, leur imposent une attention continuelle : ils sont obligés d'agir constamment sur cette manette, sans que souvent ils sachent pour quel



motif. Pourquoi la carburation est-elle meilleure à la traversée d'une forêt et aux heures moins chaudes d'une belle journée d'été? Pourquoi la carburation des moteurs d'aéroplanes se fait-elle mieux le matin et le soir qu'à midi? On a invoqué l'influence de l'état hygrométrique de l'air : mais alors comment expliquer qu'en hiver la carburation soit si difficile à régler les jours de brume froide? La vapeur d'eau, utile en été, ne peut devenir nuisible six mois plus tard. Il semble que la température de l'air et sa tension jouent ici une influence au moins aussi grande que son état hygrométrique. Les tensions des essences croissent rapidement avec la température, ainsi que nous l'avons dit en étudiant ces produits, dans le tome I<sup>er</sup> de cet ouvrage (1). De 0° à 100°, l'augmentation est caractérisée par un multiplicateur, qui varie de 30 à 40, suivant les carbures. Par suite, un faible changement survenu dans la dépression sur le gicleur peut se traduire par une quantité très différente du liquide appelé, pulvérisé et vaporisé. Nous avons affaire, en somme, à un phénomène d'une grande sensibilité et d'une exceptionnelle complexité. Le problème serait évidemment simplifié si les carburants présentaient des modifications de volatilité moins grandes sous l'action de la pression et de la température. A les prendre tels qu'ils sont, il y aurait intérêt à ce que la température intérieure du carburateur subisse le moins de fluctuations possibles, et à ce que la dépression produite sous l'appel du moteur produisit une injection d'essence toujours adaptée à la puissance demandée au moteur. Ce sont des objectifs que les inventeurs de carburateurs ne doivent jamais perdre de vue et qui contribuent le plus à leur succès.

### III

#### CLASSIFICATION DES CARBURATEURS

Quelques auteurs se sont proposé de classer les carburateurs en un certain nombre de catégories distinctes, permettant de simplifier leur description en les rattachant entre eux par leurs caractères communs : ces tentatives, très rationnelles, n'ont cependant point donné les résultats qu'on en attendait, par suite de la multiplicité des organes dont se composent ces appareils et des modifications de détail dont ils sont individuellement susceptibles.

Nous nous contenterons de tracer quelques grandes lignes, qui serviront de directive générale à notre étude.

Les carburateurs sont à courants parallèles, perpendiculaires ou obliques, selon que le jet d'essence, issu du gicleur, est dirigé dans le sens du courant d'air ou en sens inverse, parallèlement au courant de l'air, perpendiculairement ou

1. Cf. tome I, page 163 et suivantes.



obliquement à son axe. C'est la première disposition qui est la plus commune.

Certains appareils opèrent les rentrées de l'air par des soupapes automatiques, d'autres par des robinets doubles, permettant de régler non seulement l'afflux de l'air pur comburant, mais aussi le volume du mélange admis au moteur; on peut agir sur le courant principal et modifier la dépression qui existe à la hauteur du gicleur, ou modérer plus ou moins les entrées de l'air additionnel.

On retrouve ces manières de faire, diversement combinées et agencées suivant des idées spéciales, dans les nombreux carburateurs que nous allons décrire.

Nous distinguerons entre les carburateurs à essences légères ou à alcool et les carburateurs-vaporisateurs, qui ont la prétention d'employer le pétrole lampant et les huiles de schiste.

#### IV

#### *Monographies.*

### CARBURATEURS A ESSENCE

#### 1. Carburateurs Longuemare.

Cet appareil est un des premiers dans l'ordre chronologique; il a reçu de nombreuses applications dans les voitures automobiles, où il a été hautement apprécié pour ses heureuses dispositions et son excellente construction.

Il a pris des formes diverses : celle de la figure 115 était déjà parfaitement comprise.

L'essence s'écoule d'un réservoir supérieur dans la boîte renfermant le flotteur, qui assure la constance du niveau dans le gicleur; il y entre par le bas et traverse une ouverture obturée par un pointeau. Quand la boîte aura reçu la quantité de liquide nécessaire pour atteindre le niveau fixé, le flotteur se soulèvera; avant cela, il reposait par son pourtour sur des leviers articulés, portant le pointeau et il maintenait l'orifice ouvert. Le remplissage effectué, dans la mesure voulue, le pointeau retombe par son poids; le niveau va dès lors rester constant. En effet, chaque fois

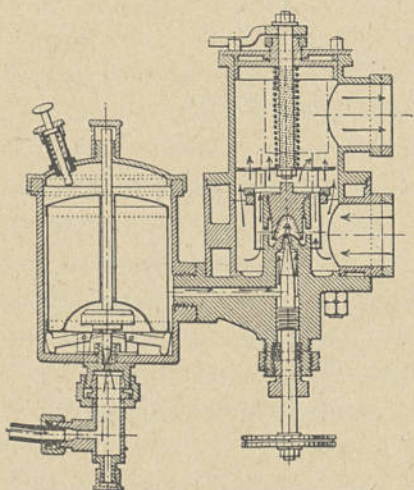


Fig. 115. — Carburateur Longuemare.



que le niveau tendra à baisser, le flotteur agira de nouveau sur les leviers articulés et il forcera le pointeau à livrer passage à l'essence, jusqu'à ce que le niveau soit de nouveau établi.

On voit à gauche du couvercle de la boîte le poussoir, dont la manœuvre fera descendre le flotteur de force et permettra de noyer le carburateur, et de faire affleurer à la partie supérieure du gicleur l'essence à pulvériser plus abondamment à la mise en route du moteur.

Le liquide est conduit au gicleur par un conduit latéral horizontal. On règle son afflux à l'aide d'une aiguille, qui pénètre plus ou moins dans l'ajutage vertical; mais cet accessoire ne se rencontre pas dans tous les appareils.

Nous marquons par les flèches du dessin le chemin suivi par l'air à carburer.

Un boisseau, qui se manœuvre par la partie supérieure, donne le moyen de limiter la section de passage de l'air. Le mélange carburé est ensuite dirigé vers le moteur par un conduit horizontal, de section égale à celle de l'entrée de l'air frais.

Le gicleur du Longuemare a subi plus tard une modification profonde, qui constituait pour lui un véritable perfectionnement. Il a pris la forme d'un champignon tronconique C sur la surface de révolution duquel sont tracées des rainures dirigées suivant la génératrice du cône, dont le nombre et la profondeur sont mathématiquement calculés. Ce champignon ferme le tube du gicleur et obture entièrement sa section, de telle sorte que le liquide ne puisse jaillir que par ces rainures, dont la finesse produit une pulvérisation parfaite (fig. 116).

Un diffuseur en cuivre enveloppe la tête du gicleur; sa forme évasée oblige la veine gazeuse à prendre sa plus grande vitesse au point même où s'échappent du champignon les filets d'essence; il en résulte un entraînement parfait des gouttelettes, une pulvérisation efficace et un brassage du mélange qui lui donne une grande homogénéité.

La chambre de carburation est à réchauffage par circulation d'eau chaude : on a aussi employé à cet effet les gaz de la décharge du moteur.

L'air à carburer est quelquefois chauffé lui-même; au contraire, l'air surnuméraire arrive froid. Il traverse une soupape automatique, constituée par un disque maintenu sur son siège par un ressort, à tension variable réglée par une vis.

Le carburateur Longuemare a reçu de multiples applications; un modèle spécial a été créé pour les motocyclettes, qui présente une particularité ingénieuse; elle mérite d'être signalée. La tubulure d'entrée d'air, dirigée vers

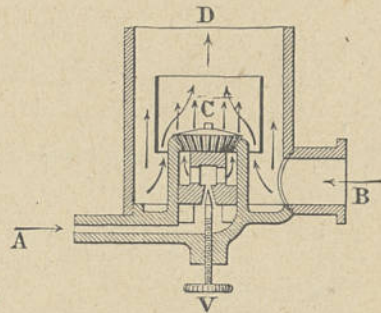


Fig. 116.  
Champignon Longuemare.



l'arrière du véhicule, est pourvue d'un clapet rectangulaire, mobile autour de son côté supérieur, qui lui sert d'axe : quand on descend une côte, le moteur a peu de travail à développer et le mélange n'a pas besoin d'être riche; à ce moment, le clapet s'ouvre par l'action de la pesanteur et laisse entrer un excès d'air. Aux montées, au contraire, le clapet retombe de lui-même et le mélange enrichi permet au moteur de développer toute la puissance dont il est capable.

On dispose de champignons de rechange pour adapter le carburateur à tous les carburants et à tous les moteurs.

## 2. Carburateur Panhard.

Ce carburateur, qui est quelquefois désigné par le nom de son inventeur, M. Krebs, appartient à la catégorie à courant d'air normal au jet; le gicleur débouche dans un conduit horizontal.

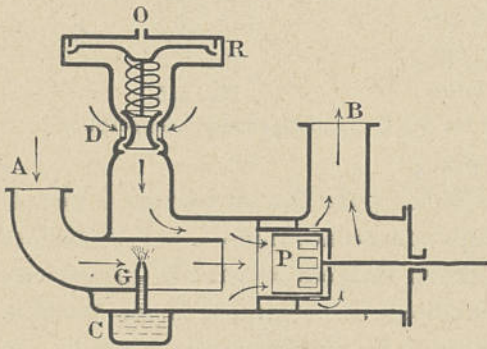


Fig. 117. — Carburateur Panhard.

L'entrée d'air se fait par A; l'essence est servie au gicleur par le réservoir habituel à niveau constant, qu'il a paru inutile de représenter sur notre dessin de la figure 117. La quantité de mélange fournie au moteur est réglée par le piston P, dont les lumières peuvent être plus ou moins complètement découvertes.

La particularité la plus intéressante de cet appareil réside dans le mode de dosage de la quantité d'air

additionnelle. L'organe qui commande celle-ci est le tiroir cylindrique D, livrant passage à l'air par des fenêtres dont l'ouverture dépend de la position du tiroir. Celui-ci est réuni par une tige verticale à un piston régulateur R, se mouvant sans frottement dans un cylindre vertical de large section; la pression atmosphérique s'exerce sur la partie supérieure du piston, par l'orifice o; l'aspiration du moteur détermine une dépression sur sa face inférieure. Un ressort maintient le piston dans une position moyenne : sa tension est réglée de telle sorte que, pour un ralenti du moteur, il ne soit plus admis d'air surnuméraire. Il en est de même lors de la marche à vide du moteur.

Le cylindre horizontal renfermant le piston P est quelquefois entouré d'une enveloppe d'eau chaude, pour assurer une meilleure vaporisation de l'essence.

M. Krebs a revendiqué pour son carburateur une automaticité de la carburation, qui supprime l'intervention du conducteur et donne une grande souplesse au fonctionnement. C'est un appareil d'automobile.



### 3. Carburateur Zénith.

Les constructeurs de cet instrument, créé en 1905 par M. Baverey, se sont proposé comme objectif principal d'obtenir à tout régime une constance du rapport des poids d'essence et d'air.

Ce rapport tend à varier, attendu que les deux fluides, essence et air, ne modifient pas parallèlement leur vitesse d'écoulement sous l'influence des diverses dépressions engendrées par l'appel du moteur : il y a presque nécessairement excès d'essence aux grandes vitesses et insuffisance aux faibles allures. Cet effet est très sensible entre 200 et 600 tours : il est moins marqué au delà et pourrait être négligé vers 1.200 tours. Mais en dessous de cette vitesse, il importe de le corriger.

On y arrive aisément en adjoignant au gicleur un *ajutage compensateur*, disposé de manière à donner lieu aux phénomènes inverses, défaut aux grandes vitesses, surabondance aux faibles vitesses. Si l'on trace la courbe des débits totalisés des deux injecteurs, on obtient une droite parallèle à l'axe des vitesses.

Le principe du compensateur est le suivant : il remplira son office de compensation, s'il débite une quantité constante dans l'unité de temps, car un ajutage à débit constant dans le temps, fournit *par cylindrée* d'autant moins d'essence que le moteur tourne plus vite. Comment obtenir ce débit constant dans l'unité de temps ? En disposant les choses de façon à ce que le compensateur soit toujours soumis à la même dépression. Pour cela, on lui fera prendre son essence dans la pipe J (fig. 118), ouverte à l'air libre, recevant l'essence du réservoir F par le déversoir *i*. Comme la section de la pipe est beaucoup plus grande que celle de H, par laquelle est appelée l'essence, les modifications de pression subies par le carburateur sont sans influence sur le débit de l'orifice *i*, et celui-ci continue de compenser les variations du jet principal G.

En réalité, les tubes G et H sont concentriques, ce dernier coiffant l'autre, de la manière que représente la coupe de la figure 119 : ils débouchent à la naissance du diffuseur S, produisant le rétrécissement de la veine gazeuse nécessaire à la bonne carburation. Le papillon P règle le débit du mélange vers le moteur : l'air arrive librement par la tubulure E. En marche normale, ce dispositif assure une alimentation convenable à la machine, quel que soit le régime de charge.

Il n'en serait toutefois plus de même au ralenti à vide : à cette allure, le

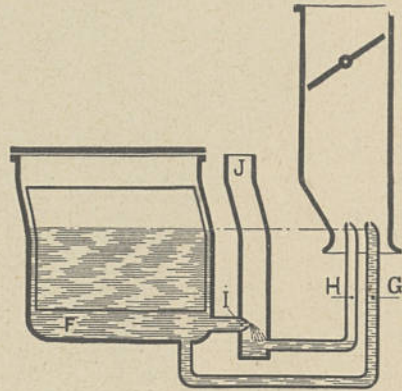


Fig. 118.

Schéma du carburateur Zénith.



papillon ferme la conduite aux  $\frac{9}{10}$ , et la dépression n'est plus suffisante au débouché des gicleurs concentriques pour provoquer leur débit. Il a fallu compléter le carburateur par un auxiliaire, figuré entre le diffuseur et le réservoir *mn* à niveau constant.

En *U*, tout contre le papillon, il se produit une forte dépression, lorsque

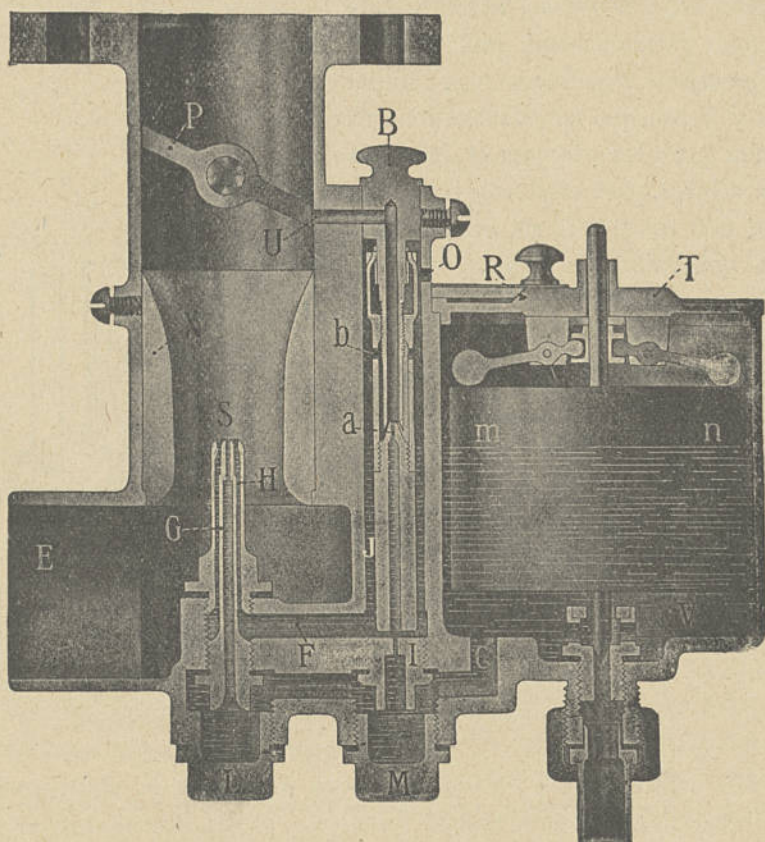


Fig. 119. — Coupe du carburateur Zénith.

le chemin du mélange se trouve barré; cette dépression s'exerce par le canal *ba* sur le bec du gicleur *a* et provoque en ce point un violent courant de l'air venu par *o*. L'essence jaillit aussitôt par *a*, et forme un mélange très riche, qui passe par l'intervalle laissé ouvert autour du papillon. Mais le trou, qui débouche en *U*, est percé dans une position telle que le papillon, en s'ouvrant, le découvre petit à petit; il en résulte un giclage d'essence proportionnel à ce que nécessitent les diverses allures de la marche ralentie. Les sections des orifices sont d'ailleurs prévues pour qu'au moment précis où le trou *U* est découvert en entier, les gicleurs *G* et *H* commencent à débiter; il n'y a donc aucune solution de continuité dans le débit d'essence depuis la plus faible vitesse à vide jusqu'aux grandes vitesses, auxquelles correspond l'ouverture maximum du papillon *P*.



Le carburateur Zénith possède une parfaite automaticité, qui se manifeste en côte et en palier; les démarrages sont aisés et les reprises puissantes; il jouit donc d'une grande souplesse. Les constructeurs ont fait procéder à des expériences au banc d'épreuve, qui ont témoigné de ces qualités et ont démontré par surcroît que les consommations sont réduites. Ils annoncent que 400.000 appli-

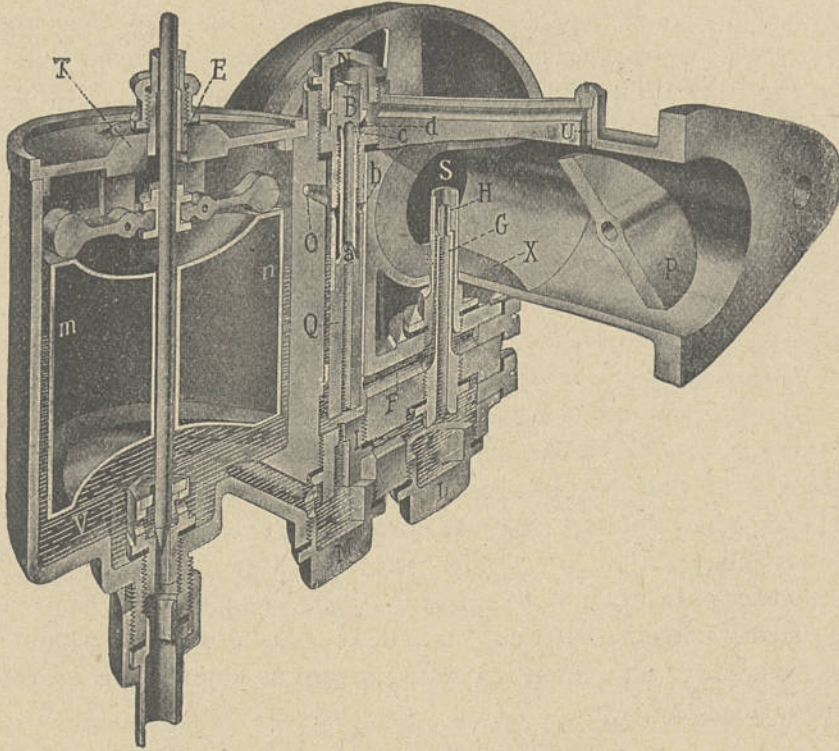


Fig. 120. — Vue perspective du carburateur Zénith.

cations annuelles sont effectuées sur des moteurs de toute marque et de tout emploi.

La vue en perspective de la figure 120 montre la disposition d'un carburateur horizontal, destiné plus spécialement à l'alimentation des groupes de cylindres fondus d'un bloc; on le fixe directement, sans tuyauterie intermédiaire, sur la fonte, et on le fait bénéficier du réchauffement qui résulte de sa température élevée.

Une modification a été apportée au Zénith, en vue de son application plus spéciale au service des moteurs d'aviation. La diminution de densité de l'air provenant de la variation d'altitude n'est pas exactement compensée par l'abaissement de température, et l'on observe que la carburation devient trop forte au fur et à mesure de la montée. On y obvie en établissant une communication entre la partie supérieure du réservoir à flotteur et l'entrée de l'air au carburateur; de plus, on dispose un tuyau de jonction, fermé par un robinet, entre



le réservoir et la partie supérieure du diffuseur. En ouvrant plus ou moins ce robinet, on fait varier le jet d'essence, car on réduit la différence de tension de l'air entre le bas et le haut du diffuseur.

Un type spécial a été créé pour les moteurs d'aviation de grande puissance. Un boisseau y a remplacé le papillon : le diffuseur est évasé par le bas, dans le but de réduire la perte de charge ; mais, quand le boisseau est très peu ouvert, une fente vient se placer en face de l'orifice du gicleur, afin d'agir plus directement sur le jet. Un compensateur d'un nouveau genre émulsionne de l'essence dans l'air, de sorte qu'il s'échappe du gicleur un mélange pulvérisé de liquide et d'air. Une vis réglable commande le dispositif de ralenti, et permet d'augmenter à volonté la richesse en essence de l'émulsion :  $\frac{1}{8}$  de tour suffit pour faire passer d'un excès à un défaut de carbure.

Pour adapter le Zénith aux moteurs rotatifs, on a superposé au diffuseur ordinaire un second diffuseur de plus petit diamètre, à parois minces, qui augmente la dépression et favorise le brassage de l'air carburé. On règle le débit du gicleur principal en disposant devant lui une fenêtre de largeur constante, pratiquée dans une clef commandée par la manette des gaz.

Les carburateurs d'aviation sont souvent à deux corps, alimentés par une cuve unique à niveau constant. La commande du papillon obturateur est liée à un levier de correction, opérant une prise d'air variable qui modifie la dépression sur les jets.

Des modèles spéciaux ont été construits pour les moteurs Renault, Salmson, Hispano-Suiza, Lorraine-Dietrich, etc., dont nous devons nous contenter de signaler l'existence, en renvoyant aux prospectus que publie la Société du carburateur Zénith.

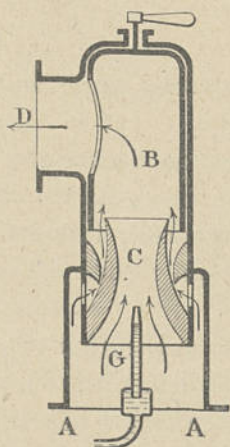


Fig. 121.  
Carburateur Mercedes.

#### 4. Carburateur Mercedes.

Le boisseau d'admission des gaz B est à axe vertical ; il porte une fenêtre qui se présente en regard d'une fenêtre identique, communiquant avec le conduit D allant au moteur : une échancrure y est pratiquée pour le ralenti.

Le diffuseur est double, en vue d'effectuer une action plus énergique sur le gicleur, par l'air traversant C.

Il y a deux gicleurs : le gicleur central, pour la marche normale, et un latéral, pour le ralenti. Quand on marche au ralenti, la chambre de ce gicleur spécial est reliée à la chambre de mélange par un canal exigü, qui ne livre passage qu'à une minime quantité d'air carburé.



### 5. Carburateur Fiat.

C'est encore un carburateur d'aviation. Il est quadruple, avec boisseau horizontal muni de quatre ouvertures.

Deux gicleurs : le principal et le secondaire, celui-ci pour le ralenti.

Le diffuseur principal D, est complété par un obturateur conique, dont on fait varier la position par un levier (fig. 122) : on arrive à régler ainsi la richesse du mélange. Le dispositif de ralenti E a un diffuseur spécial, sous la dépendance d'un écrou, qu'on visse pour enrichir le mélange, en marche au ralenti.

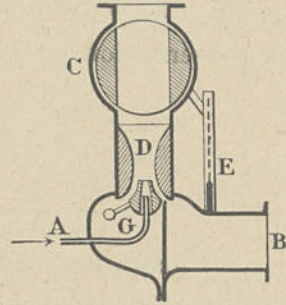


Fig. 122. — Carburateur Fiat.

### 6. Carburateur Vici.

Le carburateur Tondeur, construit par la maison Vici, reproduit les dispositifs déjà décrits ci-dessus, en gardant un caractère d'indéniable originalité. Il se prête, moyennant quelques modifications, au service des moteurs d'automobile et d'aviation, et permet l'emploi des essences et des pétroles lourds, ainsi que nous le dirons plus loin.

Son gicleur principal est alimenté par un jet annulaire, venant d'un jet plus fort, qui dessert en plus le gicleur de ralenti. Le gicleur principal débouche au point le plus rétréci du diffuseur : son débit résulte du niveau que prend l'essence, et de la dépression existant au droit de son orifice; il devient considérable, quand le moteur prend toute sa vitesse. Mais, à ce moment, le niveau baissant dans le jet de ralenti, il vient de l'air qui émulsionne l'essence fournie par le jet total et effectue un véritable freinage, en modérant la consommation. Cet air arrive par un tube central, dit de correction, débouchant au pied du gicleur principal; il communique avec une manche à air par l'intermédiaire d'un conduit portant un robinet.

Le dispositif de ralenti est muni d'une ouverture, percée un peu au-dessus du papillon d'admission, surmontant le diffuseur et la chambre de mélange. L'air sort d'une buse mobile, coupée en sifflet à sa partie inférieure. Le gicleur de ralenti est situé à la base du gicleur principal.

Cet ensemble est très difficile à décrire, sans de nombreuses figures et sans un long commentaire, dans lequel nous ne pouvons entrer.

Disons seulement qu'on dispose de plusieurs réglages, ceux du gicleur principal et des jets, total, de ralenti et de freinage, d'où résultent des combi-



naisons diverses, dont on dispose à volonté et qui conduisent au maximum de puissance, correspondant au minimum de consommation. On l'obtient par le mouvement d'une seule manette. Les jets mesurent près de  $\frac{2}{10}$  de millimètre, ce qui est beaucoup, attendu que généralement on leur donne  $\frac{7}{10}$ ; malgré cela, la pulvérisation est excellente.

### 7. Carburateur Solex.

Cet instrument a trouvé de nombreux clients parmi les chauffeurs d'automobiles, qui se louent de sa souplesse : sans présenter de dispositions bien différentes de celles que nous venons de décrire, il en a effectué une combinaison avantageuse. Un gicleur auxiliaire est branché sur la conduite alimentant le gicleur principal; son débit est réglé par une prise d'air additionnelle, qui intervient aux grandes vitesses.

### 8. Carburateur Claudel.

Il est dit à *air constant*; il s'y opère un freinage automatique de l'essence, aux grandes vitesses, sans avoir à faire intervenir aucun appareil mécanique. Un gicleur très long est entouré d'un lanterneau, fermé en haut par une vis et percé de deux rangées de trous, l'une au-dessus de l'orifice du jet, l'autre à sa partie inférieure, qui se trouve de la sorte isolée de la chambre de dépression. L'air pénètre par les trous inférieurs, de grande section, et débouche par les trous du haut, en produisant la dépression qui détermine le giclage; aux grandes vitesses, la résistance des trous supérieurs freine le passage de l'air et il arrive ainsi que la dépression soit moindre que dans le lanterneau; aux vitesses moyennes, les faibles dépressions se font sentir peu à peu également dans le lanterneau et dans la chambre du carburateur.

Au ralenti, les gaz traversent une ouverture, réglable par vis, ménagée dans le boisseau; l'essence est admise alors par un petit gicleur central, placé dans l'axe du gicleur principal.

Le carburateur Claudel a subi diverses modifications qui ont encore amélioré son fonctionnement. Ainsi la correction du débit aux basses allures est obtenue par un diffuseur, comportant un gicleur principal placé en bas et surmonté d'un gicleur de ralenti, débouchant dans un boisseau, muni d'ouvertures destinées au réglage de la dépression sur le diffuseur.

On a aussi adjoint à l'appareil un correcteur altimétrique.



Nous terminerons cette description, forcément incomplète, des principaux carburateurs à essence, en mentionnant celui de la maison Richard-Brazier, dans lequel deux gicleurs, inclinés l'un sur l'autre de 120°, croisent leurs jets et les brisent dans une chambre constituée par un cône très allongé : on obtient par ce moyen une pulvérisation très complète, dont les excellents effets se manifestent par une grande constance du mélange tonnant.

V

### CARBURATEURS A ALCOOL

Les appareils qui fabriquent de l'air carburé avec des liquides moins volatils que l'essence, notamment avec l'alcool dénaturé pur ou carburé, nécessitent des dispositions spéciales pour obtenir une bonne vaporisation, un brassage suffisant et une homogénéité complète du mélange. Le réchauffage du carburateur est indispensable; en effet, étant donnée la chaleur latente de vaporisation de l'alcool, qui tend à faire baisser la température du carburateur, il faut lui fournir du calorique en quantité suffisante; cette quantité est plus grande pour l'alcool que pour la gazoline et les autres essences de pétrole : en effet, la chaleur latente de l'alcool est de 213 calories par kilogramme et celle de l'eau est de 537 calories, à la température de 100°. Le réchauffement peut être obtenu par conductibilité ou par mélange d'air chaud. On utilise généralement les chaleurs perdues du moteur. M. Sorel a recommandé avec raison de donner aux carburateurs une grande masse, pour leur faire emmagasiner une réserve de chaleur et remplir l'office d'une espèce de volant.

On dépense  $\frac{1}{3}$  de plus d'alcool pur que d'alcool carburé à 50 %, pour produire la même puissance par un moteur déterminé : il importait de le faire observer tout de suite.

Il y a une grande variété de carburateurs à alcool; nous en décrirons quelques-uns choisis parmi ceux qui sont les plus répandus.

Un certain nombre d'appareils utilisent encore l'évaporation par surface, soit que l'air barbote dans le liquide, soit que le liquide imprègne par capillarité des tissus absorbants, revêtant la paroi du carburateur. Tel est le carburateur Pétréano, dans lequel l'alcool se déverse dans des entonnoirs, garnis d'un tissu d'amiante, spongieux et perméable, qui sont traversés par l'air. Tel est encore le carburateur Delahaye, dans lequel l'air arrive par un tuyau central débouchant au fond d'un réservoir renfermant le liquide; le liquide qui pourrait être entraîné est arrêté par des toiles métalliques superposées, qui tamisent l'air et contribuent à l'homogénéité du mélange.



Mais on procède plus habituellement par pulvérisation, dans des appareils analogues à ceux que l'on emploie pour les essences : le réglage de ces carburateurs s'opère plus facilement et la vaporisation est mieux assurée.

Le carburateur Martha est un des premiers qui ait été appliqué à l'alcool; il se compose d'un cylindre horizontal en fonte dont l'axe est traversé par le tuyau d'échappement du moteur, ce dernier étant garni d'ailettes hélicoïdales; la chambre à ailettes reçoit l'alcool pulvérisé. Le pulvérisateur est alimenté par un réservoir latéral à niveau constant, qui amène le liquide à un ajutage nickelé débitant l'alcool sur un cône à gradins, surmonté d'un champignon contre lequel se brise le jet; le courant d'air aspiré par le moteur entraîne avec lui la poussière d'alcool. La trajectoire hélicoïdale, que le courant d'air est astreint à parcourir, opère un mélange suffisant du combustible et du comburant. Cet appareil avait le défaut de mal se prêter à un réglage méthodique. Un papillon, limitant l'afflux d'air, et un robinet à pointeau modérant le débit d'alcool, devaient se régler à la main, au jugé.

La maison Longuemare a adapté son carburateur à l'alcool, en facilitant la graduation de la quantité des gaz de décharge nécessaire au réchauffage; de plus, pour les mises en marche, on s'est donné le moyen de chauffer par une lampe la paroi du carburateur; il suffit pour cela de découvrir des orifices latéraux par le déplacement d'une bague circulaire.

Le carburateur employé depuis de longues années par la maison Kœrting se compose d'un vaporisateur disposé contre la culasse du moteur, pour bénéficier de ses chaleurs perdues; l'alcool, giclé en jet divergent par une soupape conique, est rencontré par le courant d'air, qui le coupe en travers et l'entraîne dans son tourbillon; une lanterne, placée sur l'orifice d'entrée de l'air, lui imprime du reste un mouvement giratoire, qui contribue puissamment au brassage parfait du mélange.

MM. Gobron-Brillié ont imaginé un moyen mécanique de pulvérisation mis sous la dépendance du régulateur. Une clef conique à alvéoles reçoit un mouvement saccadé par un levier, commandé par une roue à rochet; elle porte sur son pourtour des crans, qui prennent le liquide dans une rainure circulaire pratiquée dans le boisseau. Lorsque la marche du moteur s'accélère, cette clef-robinet cesse de tourner. C'est, en somme, un distributeur volumétrique commandé par un régulateur d'inertie. Ce dispositif, qui a été appliqué surtout aux moteurs à gazoline, donne de bons résultats avec l'alcool; il suffit de chauffer le carburateur convenablement. La variabilité du débit par le régulateur est la caractéristique du système.

Les ateliers d'Oberursel livrent aussi l'alcool au vaporisateur par des moyens mécaniques; une petite pompe est actionnée par un arbre secondaire faisant un tour pour quatre tours du moteur; l'arbre commande le piston par une coulisse; deux billes servent de soupapes d'aspiration et de refoulement. La pompe débite plus d'alcool que le moteur n'en exige; le liquide en excès revient



au récipient de réserve par un déversoir, tandis que l'alcool à vaporiser s'écoule par un ajutage pulvérisateur dans la conduite d'air.

La *Gasmotorenfabrik* de Deutz, qui ne fait pas usage de vaporisateurs à chaud, attache au contraire un grand soin à la pulvérisation, pour laquelle elle emploie aussi une pompe. Le moteur n'est pas réglé par admission de tout ou rien, et il ne se produit aucun passage à vide, mais on fait varier le volume d'air carburé admis en gardant sa richesse constante. La came oblique, soumise au régulateur, qui fournit le mélange tonnant au cylindre, commande aussi la pompe; celle-ci injecte donc à chaque coup la quantité d'alcool dont le moteur a besoin pour garder une vitesse constante.

L'emploi des pompes est moins général que celui des appareils automatiques à flotteur dont les formes varient beaucoup.

Le carburateur Brouhot, qui a valu au moteur de ce nom son remarquable succès au concours de 1902, est représenté sur la figure 123.

M est un distributeur à niveau constant auquel l'alcool est servi par la tubulure A; le flotteur B dont il est muni maintient la constance du niveau, grâce au jeu du pointeau C, commandé par un levier de renvoi.

L'alcool se rend dans la chambre de distribution N par le canal D; l'air extérieur y arrive par L et il entraîne l'alcool dans le tuyau H, qui aboutit au vaporisateur, lequel n'est pas figuré sur notre dessin. La pulvérisation est effectuée par les soupapes I et G, reposant sur des sièges de conicité inverse : leurs tiges J et L sont concentriques; E est une chambre ménagée au-dessus des soupapes et L constitue un piston qui permet de régler la capacité de cette chambre E par l'écrou moleté F. Cela posé, voici comment fonctionne l'appareil : la soupape supérieure I est soulevée en même temps que la valve d'échappement du moteur, et la chambre E se remplit d'alcool; à ce moment la soupape

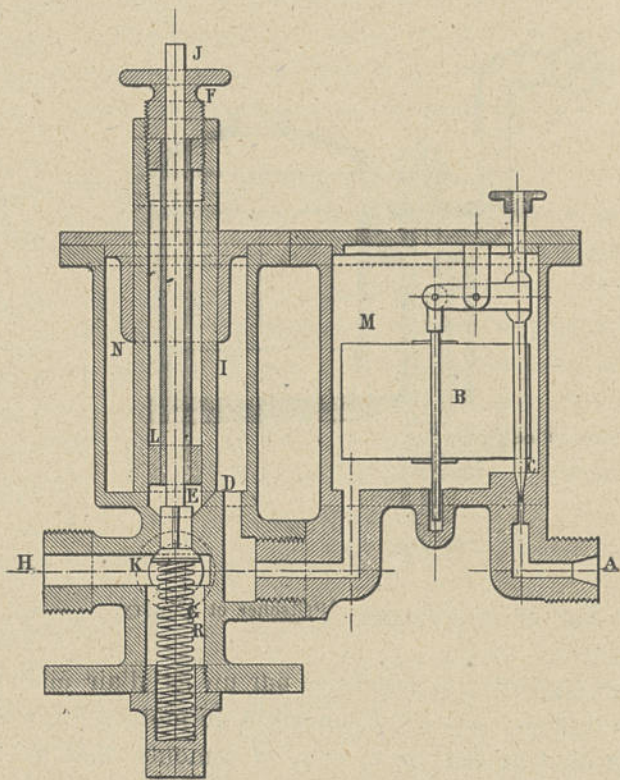


Fig. 123. — Carburateur Brouhot.



G est fermée. Au moment de l'aspiration, I redescend et se ferme avant que C ne s'ouvre, repoussé par sa tige J. Le contenu de la capacité E est donc pulvérisé et aspiré à chaque coup. La vaporisation s'effectue dans un appareil spécial, disposé de manière à utiliser le mieux possible la chaleur des gaz de l'échappement : dans ce but, les gaz brûlés parcourent les spires d'une hélice double dont l'air carburé suit le second filet, en sens inverse. Une valve qui permet de limiter

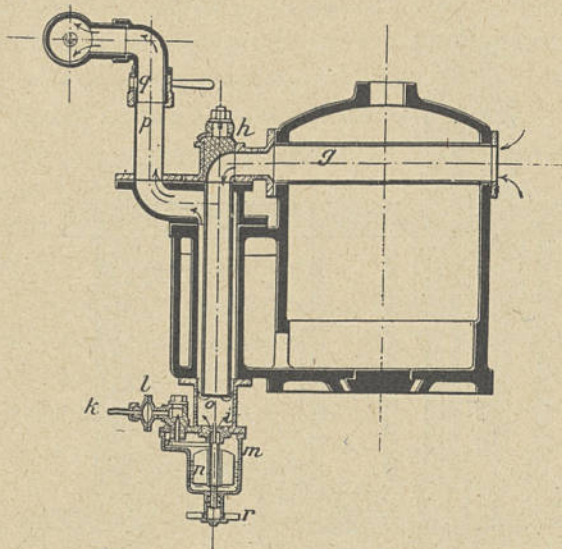


Fig. 124. — Carburateur Fritscher et Houdry.

le volume des gaz brûlés assure un réglage excellent de la température du vaporisateur : l'air pur se mêle à l'air carburé à la partie supérieure de l'appareil, dans une proportion variable, qu'on modifie par une valve suivant le besoin.

Le carburateur de MM. Fritscher et Houdry présente aussi des particularités fort intéressantes. L'alcool arrive d'un réservoir supérieur par la tubulure K (fig. 124); il traverse une grille *l* et passe dans la chambre *m*, dans laquelle le flotteur *n* maintient un niveau constant. Le pointeau *i* fait l'office de distributeur d'alcool. Le liquide

est rencontré et pulvérisé par un jet d'air amené chaud par le tuyau *g*, qui traverse le pot d'échappement du moteur. La veine d'air descend verticalement de haut en bas, de *h* en *o*, et remonte dans le canal annulaire pour gagner le conduit *n q*, qui va au moteur.

On règle à volonté le débit de l'air appelé au moteur en tournant convenablement l'obturateur *h*, placé au coude supérieur de la conduite d'air.

Pour arrêter la carburation, on dispose d'un robinet *q*, qui ouvre une entrée directe à l'air extérieur. Notons enfin que la cuvette *m* est pourvue à sa partie inférieure d'une bassine *r*, qui permet de chauffer préalablement l'alcool pour faciliter la mise en marche par les grands froids, ou bien encore lorsque le moteur fonctionne avec de l'alcool non carburé.

MM. Japy frères ont créé un carburateur de petit volume, qui donne d'excellents résultats, et assure un rendement élevé aux moteurs, par suite de la parfaite diffusion qu'il opère. L'alcool est amené au gicleur à la façon habituelle par un réservoir à niveau constant, et le jet est pris en travers par le courant d'air, dans un canal chauffé par les gaz de la décharge.



## CARBURATEURS-VAPORISATEURS A PÉTROLE

Si l'on pouvait substituer le pétrole lampant à l'essence dans l'alimentation des moteurs légers de l'automobilisme et de l'aviation, on réaliserait un immense progrès à tous égards; malheureusement, nous ne possédons pas encore le carburateur idéal, qui s'adapte à ces machines à cylindres multiples et se prête à leur marche sous régimes variés, depuis la pleine charge à toute vitesse jusqu'au ralenti.

Est-ce la faute de l'engin de carburation, ou bien du moteur?

Les deux manières de voir peuvent se défendre : nous n'oserions nous prononcer entre elles. Jusqu'ici les carburateurs à pétrole lampant ne conviennent guère qu'à l'alimentation des machines massives à marche relativement lente et à charge assez constante. Pour celles-ci, la variation de nature des pétroles ne présente pas de difficultés insurmontables, et elles s'accoutument assez bien du lampant de faible densité distillant à haute température, et du lampant lourd, distillant à basse température, car on trouve ces caractéristiques paradoxales dans les produits américains, russes, roumains et indiens, qui viennent sur le marché.

Le problème des carburateurs à pétrole est donc partiellement résolu : on garde l'espoir de faire mieux.

Il faudra toujours les réchauffer par des sources extérieures ou par les chaleurs perdues de l'échappement; l'emploi de l'eau de circulation des enveloppes n'élève pas assez la température. Cette question des températures restera une grosse difficulté pratique : en marchant à allure trop chaude, on s'expose à cracker le pétrole; d'autre part, l'air admis à trop haute température diminue le degré de remplissage de la cylindrée et peut provoquer des auto-inflammations à fin de compression. Au contraire, si l'on marche trop froid, on ne vaporise pas le brouillard; il se produit alors des condensations dans la tuyauterie et il arrive des gouttes de liquide dans le cylindre.

On s'est efforcé de surmonter ces difficultés dans les carburateurs que nous allons décrire.

### 1. Carburateur Claudel.

Le pétrole est débité par un gicleur, alimenté par un réservoir à niveau constant; l'huile, jaillissant de l'ajutage, se pulvérise contre le couvercle de la boîte de vaporisation, qui est une cornue de fonte, chauffée par une dériva-



tion des gaz de l'échappement. M. Claudel estime que le pétrole se réduit ainsi en vapeurs, qui se dissocient au contact du métal amené à une haute température; pour mieux assurer cet effet, ces vapeurs traversent trois tubes concentriques, munis de chicanes, avant de s'engager dans la conduite allant au moteur. C'est par l'appel du piston que l'air se mêle aux produits carburés. Un premier orifice, percé dans la paroi de la cornue, lui livre passage; mais on règle cette entrée de manière à ne produire qu'une première oxydation des carbures et à empêcher toute formation de coke ou de goudron. L'air nécessaire à la combustion totale n'est servi que plus loin aux vapeurs et aux gaz combustibles ainsi engendrés. L'accès de l'air est modéré par les pertes de charge, qui sont proportionnelles à la vitesse du moteur, de sorte qu'il se produit une sorte d'autorégulation très efficace.

L'appareil que nous venons de décrire est souvent appelé le carburateur-dissociateur Claudel; on lui donne aussi quelquefois le nom de gazogène. Son inventeur l'a présenté à ce titre aux Ingénieurs Civils de France, en faisant valoir des considérations théoriques qui ont été remarquées (1).

Si l'on introduit dans une cornue surchauffée, en même temps que des vapeurs de pétrole, de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique, on peut compter que leurs éléments dissociés se combineront avec les produits solides résultant de la combustion partielle des carbures et engendreront des gaz, notamment de l'oxyde de carbone; M. Claudel signale qu'on obtient ainsi une destruction de produits gênants dans les moteurs, en même temps qu'on réalise une récupération des chaleurs perdues. Mais où trouver cette vapeur d'eau surchauffée et cet anhydride carbonique à haute température? Dans les gaz d'échappement, répond M. Claudel, et il les introduit dans la cornue de son carburateur en même temps que l'air pris à l'atmosphère, qui contribue aussi aux réactions envisagées.

Il est indispensable de chauffer la cornue, lors de la mise en route du moteur, à l'aide d'une lampe spécialement installée à cet effet; mais on préfère généralement effectuer le départ à l'essence. Pour cela, on fait usage d'un double réservoir à niveau constant: l'un d'eux, à large flotteur, sert pour le pétrole lourd, l'autre, plus petit, est chargé d'essence; chacun d'eux possède son gicleur.

## 2. Carburateur Vici.

La pulvérisation excellente, réalisée dans cet appareil par sa disposition en série de deux injections d'air, a permis de l'appliquer à l'emploi du pétrole lampant.

1. CLAUDEL, « Théorie générale sur la carburation, » *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, mars 1904.



Il est pourvu de deux réservoirs à niveau constant, concentriques l'un à l'autre, le réservoir central renfermant le pétrole lampant, le réservoir annulaire l'essence : chaque réservoir a son flotteur à pointeau. Mais ces pointeaux, disposés l'un à la partie supérieure, l'autre au bas du réservoir, tournent leurs conicités en sens inverse et celui de l'essence est sous la dépendance de l'autre, par poussée. Les réservoirs concourent à l'alimentation d'une chambre de mélange unique; les deux liquides y sont admis par un orifice inférieur, fermé par une soupape constituée par deux cônes à base commune. Cette soupape, que nous appellerons *s*, pour faciliter notre description, peut donc livrer passage successivement à l'essence et à l'huile, vers la chambre de mélange : ses mouvements sont solidaires de ceux d'une membrane, en cuir chromé souple, tendue à la partie inférieure d'une petite enceinte mise en communication avec le tuyau parcouru par le mélange tonnant gazeux, par un orifice pratiqué entre le diffuseur et le papillon. Toutefois, un ressort antagoniste tend à appuyer la soupape *s* sur le siège livrant passage au pétrole. Ainsi donc, dans la disposition initiale des choses, il n'arrive pas de pétrole à son gicleur.

Cela étant, on peut se rendre compte du fonctionnement de l'appareil.

La mise en route s'opère uniquement à l'essence. Mais bientôt, par suite de la dépression exercée par les gaz à la partie supérieure de la membrane, la soupape *s* quitte le siège de l'essence et permet l'arrivée d'une certaine quantité de pétrole, qui est fonction de la vitesse prise par le moteur. A pleine charge, le débit de pétrole peut devenir suffisant pour constituer les  $\frac{9}{10}$  de la consommation d'un gros camion; pour les voitures légères, cette proportion est moindre, mais elle reste suffisante pour procurer une économie sensible sur l'emploi exclusif de l'essence, tout en assurant un bon fonctionnement du moteur.

### 3. Carburateur Aster.

Le pétrole d'un réservoir en charge est servi à la cuve à niveau constant, d'où il passe dans le carburateur par un pointeau réglable. L'air aspiré entre par une buse, qui se rétrécit vers le pointeau; il pulvérise le liquide et le projette contre une surface courbe, dont l'autre face est réchauffée par une dérivation des gaz de l'échappement.

L'air carburé traverse un papillon, placé sous la dépendance du régulateur. Le dosage de l'air s'opère par une soupape, renfermée dans une boîte, et l'ouverture est plus ou moins obturée par un volet.

On démarre au pétrole, en chauffant par une lampe la double enveloppe du carburateur.



#### 4. Carburateur Bellem-Brégeras.

Les inventeurs de cet ingénieux instrument ont appliqué une idée nouvelle : ils injectent le pétrole dans le cylindre du moteur avant que l'ouverture de la soupape d'admission y laisse entrer de l'air. En d'autres termes, l'admission se fait en deux temps. Le moteur intervient dans la gazéification.

Le pulvérisateur est alimenté par une pompe qui envoie au gicleur la quantité d'huile nécessaire à une cylindrée : c'est donc une poussière d'huile qui est introduite dans le cylindre. L'air admis avec un retard notable, au moment où le piston a déjà acquis une certaine vitesse, se mêle intimement aux fines gouttelettes d'huile, et il se forme un bon mélange. Il n'y a donc plus de carburateur, à vrai dire, extérieur au cylindre : il est remplacé par une pompe.

Le moteur peut démarrer à froid, comme avec de l'essence : le fait avait déjà été démontré avant la guerre et j'avais été appelé à le constater.

Le fonctionnement des moteurs d'autos alimentés de pétrole par ce système est excellent, ainsi qu'en ont témoigné les épreuves du concours de l'Automobile-Club, de 1918, sur le circuit Neuilly-Nantes. Deux moteurs *Unic*, alimentés de la sorte, ont permis de couvrir 1.000 kilomètres sans panne, à une vitesse moyenne de 40 kilomètres, en dépensant environ 16 litres de pétrole lampant aux 100 kilomètres.

On pourrait envisager dans d'aussi bonnes conditions l'emploi d'huiles lourdes de schiste ou de goudron ou d'alcool carburé.

Nous n'en dirons pas davantage pour le moment, car nous aurons à revenir sur la question, en décrivant le moteur Bellem-Brégeras.

#### 5. Carburateur Éclipse.

Voilà encore un appareil permettant de substituer les huiles lourdes à l'essence, dans les moteurs de tracteurs et de bateaux.

On est revenu à un procédé chimique, dérivant de la théorie de M. Claudel.

Un gicleur pulvérise l'huile dans une cornue chauffée où elle rencontre de l'air et de la vapeur d'eau. Cette dernière, et c'est ici l'originalité réelle du procédé, est amenée au contact d'une masse charbonneuse, élevée à une température suffisante pour donner lieu à la réaction  $C + H_2O = CO + 2 H$ .

Il pourrait y avoir production d'anhydride carbonique ( $C + 2 H_2O = CO_2 + 4 H$ ), mais on s'efforce d'éviter ce résultat en réglant convenablement la température du vaporisateur. Ces réactions ont lieu avant qu'il y ait incandescence de la masse.

Le moteur aspire donc un mélange de vapeurs d'huiles lourdes, de vapeur d'eau, de CO, de CO<sup>2</sup>, d'O, d'Az et d'H<sup>2</sup> qu'on additionne de la quantité d'air



nécessaire pour réaliser la meilleure combustion : la présence de la vapeur d'eau empêche les allumages prématurés que l'on pourrait redouter. Il ne se produit pas d'encrassements fâcheux, ce qui peut être attribué à la présence de CO.

Les mises en route s'effectuent le plus commodément à l'essence, dont il ne se dépense ainsi qu'une minime quantité.

La consommation d'huile lampante est ressortie à près de 300 grammes par cheval-heure pour un moteur Berliet, travaillant à pleine charge, et à 316 grammes sous demi-charge : ces excellents résultats ont été constatés par des essais, effectués au banc, aux ateliers de la Marine d'Indret, avec du pétrole de densité égale à 0,814. Sur route, le fonctionnement n'a pas été moins satisfaisant, et l'on a dépensé 17 % d'huile en moins que d'essence par tonne kilométrique, dans des conditions comparables.

## 6. Carburateur Le Grain.

Cet appareil a été présenté aux Ingénieurs Civils par M. Drosne, dans la séance du 25 février 1921; l'ingénieur distingué, qui lui a servi de parrain, y a trouvé la réalisation du schéma-type du carburateur permettant l'emploi du pétrole lampant pour l'alimentation des moteurs ultra-légers. Dans un circuit dérivé du courant d'air se forme une émulsion extrêmement riche en carburant, une mousse d'essence; cette émulsion est ensuite diffusée elle-même dans le tuyautage d'aspiration. On sépare donc, dans des organes différents, la formation de l'émulsion et sa diffusion; on gagne ainsi une souplesse remarquable du fonctionnement, puisque l'on réalise aisément des dosages constants, uniquement fonctions des rapports de certaines dimensions géométriques.

Ce carburateur, que M. Drosne n'a pas décrit avec la précision que l'on aurait désirée, paraît composé d'un gicleur noyé, placé à la base d'un puits, constituant une dérivation du courant d'air. Le dosage ne dépend que du rapport des sections  $s$  de l'orifice du pulvérisateur et  $S$  du shunt. La carburation est rendue automatique par l'arrangement des résistances hydrauliques des canalisations; dans cette organisation, les fluides air et essence n'interviennent que par leurs densités relatives ou leurs vitesses au point où s'opère le mélange.

Pour fabriquer avec le carburant une émulsion stable et suffisamment fine, et lui permettre de se diviser dans le flux principal, on dispose un réchauffeur sur le circuit compris entre le gicleur et le diffuseur; on emprunte le calorique aux gaz de l'échappement. L'émulsion faite dans le rapport de 3 d'air pour 1 de carburant est ainsi échauffée et presque complètement vaporisée : il convient de donner au circuit d'échange de calorique un développement suffisant pour



que l'émulsion soit portée à une température de 180° à 220° au-dessus de l'ambiant. Cette température est, dans de larges limites, indépendante de l'allure, à cause de la diminution proportionnelle des vitesses des deux fluides dans l'échangeur.

On dit que le mélange carburé possède tous les caractères d'une diffusion gazeuse, et que le brouillard formé par la condensation, au contact de l'air froid, a un retard suffisant à la concentration des gouttes, pour qu'on n'observe aucun dépôt systématique au cours de l'aspiration et au début de la compression dans le cylindre moteur. Pour maintenir un bon fonctionnement au ralenti, on peut prévoir un réchauffement de l'air principal lui-même.

Ce carburateur permettrait, a-t-on dit, à un moteur usuel de marcher indifféremment au pétrole lampant ou à l'essence, avec la même souplesse et le même rendement.

Nous regrettons de ne pouvoir joindre à la description que nous venons de faire de cet appareil des résultats d'expériences suivies, effectuées avec les lampants du commerce actuel. Elles présenteraient un extrême intérêt, car l'utilisation de ces produits dans les moteurs de traction et de propulsion marquerait un grand progrès. Sa réalisation serait facilitée, si les raffineurs fournissaient à leur clientèle des lampants plus homogènes, présentant moins d'écart entre les propriétés physiques et chimiques de leurs éléments extrêmes : ils y seraient plus intéressés que tous autres, attendu que l'alimentation des moteurs leur ouvrirait un champ d'action plus vaste et plus sûr que celui de l'éclairage, qui se restreint de plus en plus (1).

---

1. Voir sur toutes ces questions les articles publiés par M. le capitaine Marcotte dans *la Technique moderne*, tome XI, 1919.



## CHAPITRE X

---

### LES GAZOGÈNES

---

#### *Classification.*

Nous ne reviendrons pas sur la théorie de la gazéification des combustibles solides, exposée ci-dessus (1).

Il nous reste à décrire les appareils destinés spécialement au service des moteurs.

Les uns méritent l'attention par leur incontestable originalité, d'autres par l'ingéniosité avec laquelle ont été agencés et combinés des éléments anciennement connus, mais dont on n'avait pas toujours su concilier les avantages particuliers.

Nous ferons la plus large place dans ce chapitre aux gazogènes qui se sont le plus répandus dans les établissements industriels et ont conduit aux meilleurs résultats. Il en est d'autres qui n'ont guère vu le jour que dans les traités spéciaux ou dans les collections de brevets; une mention sommaire suffira pour signaler leurs possibilités d'existence et les rendements que l'admiration complaisante de leurs auteurs leur a prêtés.

On ne se fait pas une idée du nombre considérable de projets qui ont été conçus, et de brevets, dont on a payé les primes au moins une fois ou deux, juste le nombre d'années voulu pour qu'on ait eu le temps de faire parler d'eux, sinon de les soumettre au contrôle de la pratique. Dans deux petits volumes d'une bonne centaine de pages chacun, M. Pütsch a réuni plus de 200 œuvres, dont les schémas ou les détails d'exécution sont représentés sur 214 figures; ce sont surtout des inventions allemandes (2). Lencachez, Letombe, Richard, MM. Marchis, Deschamps, Mathot, et d'autres encore, ont donné la description d'un grand nombre de gazogènes, en faisant une plus large part aux créations du génie français, anglais et américain. Ces diverses publications constituent une masse de documents, souvent curieux et intéressants, parmi lesquels je me suis efforcé de pratiquer une sélection aussi rationnelle que possible, en cherchant à être assez complet, pour ne pas rester inférieur à la tâche, sans l'être

1. Cf. tome I, page 218.

2. M. Pütsch a publié sous les titres *Neue Gasfeuerungen* (1888) et *Neuere Gasfeuerungen* (1899) la collection des brevets allemands relatifs à la gazéification; en consultant ces intéressants ouvrages, on constate que bien des inventions considérées comme nouvelles avaient eu des antériorités indiscutables.



trop, de peur de fatiguer le lecteur et d'abuser de sa bienveillante attention.

Pour mettre de l'ordre dans ce travail descriptif, il est nécessaire de classer les appareils, et de ranger leurs monographies sous des rubriques bien définies et clairement spécifiées.

Tous les gazogènes appliqués à l'alimentation des moteurs fabriquent du gaz mixte, vulgairement appelé du gaz pauvre, bien que l'injection d'eau dans la cuve du producteur fournisse un gaz plus riche que le gaz Siemens dit gaz à l'air.

Ils appartiennent à des catégories bien distinctes.

Si nous ne considérons que les dispositifs produisant l'introduction dans la cuve du mélange d'air et de vapeur nécessaires à la gazéification, nous pouvons former quatre classes :

1° Les gazogènes à insufflation par un injecteur à vapeur, avec chaudière spéciale et surchauffeur (genre Dowson);

2° Les gazogènes à insufflation par ventilateur, qui empruntent à un moteur l'énergie d'insufflation, et récupèrent sur les chaleurs perdues le calorique de vaporisation de l'eau (genre Lencachez);

3° Les gazogènes soufflés à haute pression (genre Gardie).

4° Les gazogènes à aspiration, accouplés directement au moteur à gaz, dont l'appel détermine le passage de l'air et de la vapeur à travers la cuve (genre Arbos et Bénier).

Mais cette classification, très rationnelle et très complète autrefois, ne convient plus à l'état présent de la construction, parce qu'aujourd'hui la plupart des appareils fonctionnent par aspiration, et que, d'autre part, le mode d'introduction de l'air ne spécifie pas suffisamment le gazofacteur. Il me semble préférable de différencier les différents modèles d'après le combustible mis en œuvre, en tenant compte de la manière dont ce combustible est traité et dont il subit l'action du comburant et de la chaleur.

Nous nous occuperons d'abord des gazogènes à tirage direct, utilisant des charbons appropriés particulièrement à cet emploi, anthracites, charbons anthraciteux, charbons maigres durants au feu et ne collant pas, accompagnés nécessairement d'appareils de lavage, de nettoyage et d'épuration, destinés à retenir les poussières et les goudrons, dont les moteurs ne pourraient s'accommoder.

Nous passerons ensuite aux gazogènes à charbons bitumineux, dans lesquels on recourt à des moyens spéciaux, pour transformer les goudrons en produits pyrogénés, dans une zone de réaction, faisant partie de la cuve, ou pour les arrêter en même temps que d'autres sous-produits, dans une suite de dispositifs, placés en aval de la cuve. Ce sont deux façons distinctes d'opérer : on y a reconnu les gazogènes à tirage renversé et les gazogènes du type Mond et Duff. Il faut y joindre les gazogènes à mécanismes, qui brisent les croûtes et dégagent les grilles des scories tendant à les obstruer.

Les gazogènes spéciaux pour bois, tourbe, lignite, déchets végétaux, charbon



pulvérisé appartiennent à une dernière espèce qu'il y a utilité de décrire à part, parce qu'ils présentent des caractéristiques particulières, dépendant de la nature et de la forme du combustible.

*Monographies.*

I

**GAZOGÈNES A TIRAGE DIRECT AVEC ÉPURATION**

J'appelle tirage direct celui dans lequel l'air, refoulé par un injecteur ou un ventilateur, ou appelé par le moteur, quelquefois avec intervention d'un exhausteur, traverse le combustible de bas en haut, en recoupant d'abord des couches incandescentes, puis du charbon frais, dont il emporte les produits de distillation. Ce dispositif exige l'adjonction, à la suite de la cuve, d'une série d'appareils à action physique, chimique, ou mécanique, ayant pour objet d'arrêter les impuretés de toute nature du gaz, capables de nuire au bon fonctionnement du moteur.

Voici, à mon sens, ce qu'un constructeur avisé doit prendre pour objectif : ce sont les conditions caractéristiques des bons gazogènes pour moteurs à gaz pauvre : on les a quelquefois perdues de vue pour se lancer à la poursuite de séduisantes chimères.

- Facilités de chargement du combustible;
- Sa bonne répartition dans la cuve;
- Liberté de descente des charges dans la cuve;
- Possibilité d'aider cette descente par un coup de ringard;
- Regards permettant de se rendre compte de l'allure du feu;
- Suppression des cheminées dans la masse du combustible;
- Atténuation de l'action destructive exercée sur les garnitures réfractaires;
- Étanchéité de l'appareil, des trémies, des regards et des portes;
- Réduction des pertes de chaleur vers l'extérieur;
- Décrassage aisé de la grille sans troubler la production du gaz;
- Réglage rationnel des quantités d'eau pulvérisée ou vaporisée introduite au foyer;
- Réglage simultané des quantités d'air fournies à la cuve;
- Assurance contre les retours de flamme par les trémies et les portes en service;
- Possibilité d'appréciation de la qualité du gaz débité;
- Même possibilité pour les quantités;
- Constatacion aisée du mouvement du gaz par des prises et des manomètres placés aux lieux d'élection;



Enfin, toutes précautions pour que rien ne vienne contrarier le bon fonctionnement de la gazéification à l'insu du conducteur.

Ces conditions avaient déjà été énoncées (1) : nous avons cru devoir les résumer en un tableau succinct.

Nous allons voir comment et dans quelle mesure ces conditions d'un bon gazogène et d'une bonne installation sont réalisées dans les divers appareils concurrents, qui se disputent les préférences des industriels.

Mais, avant de nous engager dans la description d'appareils qui présentent entre eux de nombreux points de ressemblance, nous dirons pourquoi, sous des noms divers, nous trouverons des choses très peu diverses. De nombreuses dispositions de détail sont tombées dans le domaine public et appartiennent donc à tout le monde; la nouveauté ne peut consister que dans leur combinaison, plus rationnelle ou plus pratique.

On serait tenté de passer sous silence des modèles que ne caractérise plus aucune particularité vraiment originale et qui ne sont pas devenus des types. Mais il serait déplaisant de ne pas citer certains noms, et je n'ai pas eu le courage d'infliger le désagrément de paraître dédaignées à des maisons qui ont beaucoup construit et vendu. Toutefois cette déclaration était nécessaire pour me faire pardonner des redites.

Si je n'ai d'autre part point fait mention de quelques gazogènes, c'est que je n'ai eu pour eux aucune preuve d'exécution et que je les ai soupçonnés d'être restés à l'état de projets... brevetés.

Mes descriptions seront quelquefois plus ou moins fidèles, malgré la peine que j'ai prise de me bien documenter; on me pardonnera les inexactitudes que j'ai pu commettre aussi bien que les omissions dont je me suis rendu coupable.

Il est difficile en effet de définir, par un nom d'inventeur ou de constructeur, des appareils qui se sont transformés avec le temps, en évoluant avec la mode, en prenant des formes variées et en affectant des dispositions entièrement différentes. Lencauchez et Letombe, par exemple, ont réalisé de nombreuses idées successives dans leur féconde carrière, et leur œuvre se présente sous des titres divers; pour eux et pour d'autres, on tombe aisément dans la confusion : il faut s'y résigner, parce qu'on ne peut l'éviter (2).

Les ouvrages spéciaux, qui traitent de la matière, peuvent donner la description détaillée de tous ces projets, quelquefois singuliers, sinon très originaux, tous brevetés (S.G.D.G.), mais dont quelques-uns n'ont pas même été essayés, fruit des élucubrations d'ingénieurs avisés, de théoriciens savants, de praticiens expérimentés, lancés à la recherche de cette nouvelle pierre philosophale, qui doit permettre de fabriquer un gaz riche, de composition

1. Cf. tome I, page 240.

2. J'ai développé ces considérations dans un ouvrage spécial auquel je me permets de renvoyer les lecteurs désireux d'approfondir ces questions de gazéification : *Les gazogènes et l'économie du combustible*, Paris, J.-B. Baillièrre et fils, 1921. Je ne traite ici que des gazogènes destinés à alimenter des moteurs.



constante, débarrassé de goudrons et de poussières, avec n'importe quel charbon, en réalisant un rendement supérieur à celui de la meilleure des chaudières à vapeur.

Nous sommes obligés, dans ce livre, de nous limiter. En somme, il est permis encore de se demander si le parfait gazogène pour moteur est vraiment réalisé, et si l'on peut obtenir avec ces appareils une sécurité de fonctionnement égale à celle que procure la chaudière à vapeur, en utilisant dans le producteur des charbons autres que les bons anthracites, lavés, criblés et absolument dépoussiérés. Il y a de longues années que les inventeurs prétendent avoir obtenu ce résultat; mais ils s'abusaient certainement, car ils ont tous, depuis lors, abandonné leurs premiers modèles, pour en essayer d'autres; les premiers ne répondaient donc pas encore à leur attente et à leurs promesses. S'ils ont cru devoir créer de nouveaux types, c'est qu'ils ont sans doute rencontré de graves difficultés et eu des ennuis, dans quelque'une de leurs installations.

Ces remarques faites, nous pouvons aborder la monographie d'un certain nombre de gazogènes pour moteurs, en suivant la classification proposée ci-dessus.

### 1. Gazogène Dowson.

Le premier brevet de M. Emerson Dowson est du 10 octobre 1878, mais les appareils actuels reproduisent plutôt les dispositions d'un second brevet pris à la date du 10 juillet 1883; l'inventeur a depuis lors encore perfectionné son œuvre, mais nous ne pouvons nous dispenser de décrire son premier appareil, qui a fait époque dans la construction et dont on trouve encore des spécimens.

La cuve à gazéification se compose d'un cylindre vertical A en terre réfractaire, entouré d'une enveloppe de tôle (fig. 125).

Le combustible est porté par la grille *a*; la chambre B est close: c'est là qu'est lancé sans interruption le courant d'air et de vapeur mêlés ensemble, qui donneront lieu simultanément aux phénomènes de dissociation, de réduction et de combustion par lesquels le gaz est produit. On charge le combustible par l'ouverture A, fermée par une trémie ou un clapet *a* appuyé sur son siège par un contrepoids.

La vapeur est empruntée à une petite chaudière à foyer intérieur, munie d'un serpentín de surchauffe; on brûle généralement sur sa grille du coke, mêlé des débris d'anthracite restés sur le carreau et des escarbilles recueillies dans le cendrier de la cuve. Quelquefois aussi M. Dowson a employé le gaz pauvre dont il faisait une prise sur le gazomètre. La vapeur est produite sous une pression de 6 à 7 kilogrammes au maximum. Il faut que la chaudière fournisse environ 600 grammes de vapeur par cheval-heure effectif, ce qui correspond à 5 décimètres carrés de surface de chauffe environ.



Le vapeur se rend à la cuve en traversant un injecteur du genre Kœrting, constitué par un ajutage débouchant dans l'axe d'un tronc de cône concentrique renversé : un robinet permet de régler le débit de vapeur; on fait varier d'autre part le volume d'air injecté en modifiant la position de l'ajutage dans le cône d'aspiration. C'est un des points faibles du système, attendu que le

conducteur du gazogène ne dispose pas des deux éléments air et vapeur avec toute l'indépendance désirable.

Les gaz engendrés dans la cuve traversent une boîte à clapets, puis les deux chambres d'un barillet, destiné à arrêter les goudrons et autres produits condensables : un tube siphon maintient l'eau à un niveau constant dans ce barillet.

Le courant gazeux arrive ensuite dans un laveur, qu'on peut placer dans la cuve du gazomètre, ainsi que notre figure le fait voir, mais qui en est souvent distinct. Dans les grandes installations, le laveur est précédé d'un jeu d'orgues.

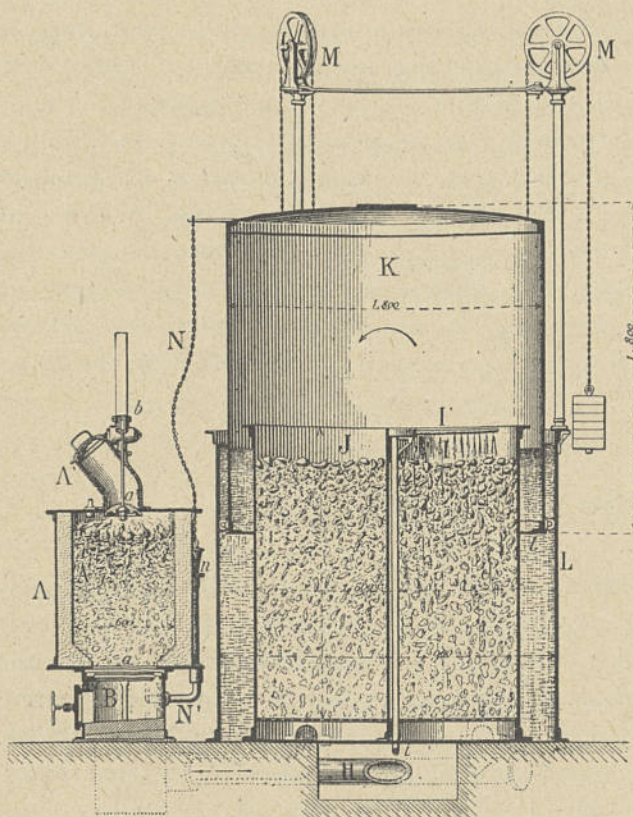


Fig. 125. — Gazogène Dowson primitif.

M. Dowson a longtemps employé comme épurateur un caisson de tôle rempli de sciure de bois humide, qui avait la mission complexe de retenir les goudrons et les poussières; mais ces appareils imposaient un renouvellement fréquent de la sciure et ils avaient d'autre part l'inconvénient de créer souvent des résistances notables, aboutissant quelquefois à une obstruction complète. Le simple scrubber à coke suffit bien souvent pour laver et purifier le gaz; on lui adjoint un épurateur chimique, quand on veut compléter son action.

On se donnait comme règle, pour fixer la capacité de la cloche du gazomètre, qu'elle devait suffire à entretenir la marche du moteur pendant cinq minutes : mais c'était un minimum qu'on dépassait presque toujours.

Des tampons de fonte ménagés sur la partie supérieure de la cloche permettent de faire évacuer l'excès de gaz, s'il y a lieu, ou bien le mauvais gaz qui



aurait pu se produire accidentellement. L'évacuation des gaz s'impose du reste au bout d'un certain temps, par suite de l'accumulation inévitable au fond du gazomètre de l'anhydride carbonique plus dense que les autres gaz.

En rattachant la cloche par une chaîne au robinet d'entrée d'air, on peut faire arrêter automatiquement l'insufflation d'air dans le gazogène aussitôt que la cloche approche de sa position supérieure : cette chaîne N est visible sur notre dessin.

MM. Pierron et Dehaitre ont été les premiers concessionnaires en France des brevets Dowson ; dans leur prospectus, ils déclaraient que le système avait déjà reçu de nombreuses applications industrielles. J'y relève deux indications qui ont de l'intérêt : ils déclaraient que pour faire 1 mètre cube de gaz, il fallait 190 grammes d'anhracite et 150 grammes de vapeur ; de plus, ils annonçaient que le cheval-heure effectif avait été obtenu, avec un moteur Crossley, par 679 grammes d'anhracite. On oubliait de parler de la dépense de coke dans la chaudière.

Les prix annoncés étaient les suivants :

| Puissance du moteur. | Prix total. | Frais de montage. |
|----------------------|-------------|-------------------|
| 6 chevaux.....       | 4.050 fr.   | 360 fr.           |
| 8 — .....            | 4.500       | »                 |
| 10 — .....           | 5.250       | »                 |
| 12 — .....           | 5.550       | »                 |

Le gazomètre mesurait 1 m. 825 de diamètre et 1 m. 825 de haut.

Ces données remontent aux premiers temps des gaz pauvres, mais elles présentent encore de l'intérêt, par comparaison.

Les frères Crossley, en Angleterre, et la maison Otto, de Deutz, furent immédiatement les clients de Dowson et contribuèrent beaucoup au succès remarquable de ce gazogène, bien conçu et très étudié dans ses moindres détails.

M. Dowson le perfectionna constamment.

Bientôt, à l'exemple de ses concurrents, devenus innombrables, il créa à son tour un appareil à aspiration.

Dans ce gazogène, la cuve du producteur est cylindrique ; elle présente une augmentation considérable de section à la partie supérieure, dans laquelle pénètre profondément la trémie ; une chaudière en fonte forme au contraire un rétrécissement à la base. Cette chaudière est entièrement remplie d'eau : un indicateur de niveau permet de s'assurer de sa présence ; la vapeur s'échappe par-dessus et se trouve ramenée à la hauteur du foyer par une enveloppe conique. Le combustible s'appuie

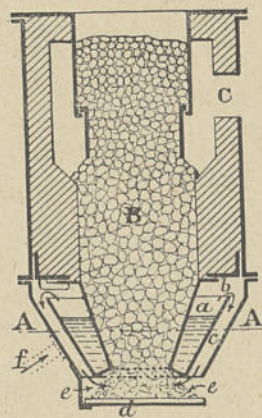


Fig. 126.  
Nouveau type Dowson.



sur le rétrécissement, ainsi que sur un plateau en fonte, refroidi par une circulation d'eau : la grille est donc supprimée, ainsi que cela se pratique aujourd'hui dans de nombreux gazogènes. L'air se mêle à la vapeur à son entrée dans le foyer. La prise de gaz s'effectue par le haut de la cuve et les produits de distillation sont entraînés dans le courant (fig. 126):

Un doseur de vapeur breveté règle la quantité de vapeur suivant le besoin de fonctionnement.

M. Dugald Clerk a décrit cet appareil avec éloges à la réunion des ingénieurs civils anglais, le 21 avril 1904, en signalant un résultat d'essai, effectué avec de l'antracite, qui correspondrait à un rendement de 89 %; un tel rendement témoignerait de la qualité du combustible employé, non moins que de la perfection du gazogène.

Le gazogène Dowson est construit aujourd'hui par la Dowson and Mason Gas Plant Co, à Manchester. La chaudière est maintenant placée au-dessus de la cuve, ainsi que cela se fait habituellement. La puissance des appareils varie de 10 à 300 chevaux. L'épuration des gaz est particulièrement soignée dans ces installations.

Les mêmes constructeurs ont établi un type spécial pour les charbons bitumineux, dont nous parlerons plus loin.

## 2. Gazogène Otto.

Les ateliers de Deutz se contentèrent longtemps d'exploiter les brevets Dowson, dont ils avaient acquis la licence en Allemagne.

Quelques perfectionnements de détail furent apportés à l'œuvre de l'ingénieur anglais. Ainsi on imagina d'employer deux et même trois injecteurs indépendants, afin de faire varier, dans une limite plus étendue, la quantité d'air et de vapeur fournie au foyer, et de gouverner plus aisément son allure; c'était bien pensé, mais la solution était une complication. On eut l'idée de glisser devant les portes du cendrier des blocs de terre réfractaire pour protéger les fontes contre le rayonnement excessif du foyer. Plus tard, une cloison vint former barrage devant l'orifice de sortie des gaz, ce qui forçait les produits volatils de s'infléchir et de traverser la zone d'incandescence. Quelquefois on recouvrait le couvercle du gazogène d'une couche d'eau, pour le maintenir froid (1).

Une des plus brillantes installations faites par la société de Deutz est celle des stations hydrauliques de Bâle, dont nous avons déjà parlé, à propos des expériences de M. Meyer. L'ensemble se compose de deux chaudières à surchauffe,

1. Adolf LANGEN, *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 8 novembre 1902. Dans ce travail, M. Langen fait d'Ebelmen un Allemand; Ebelmen est né à Baume-les-Dames, dans le Doubs, en 1814; il est mort en 1852, directeur de la manufacture de Sèvres.



de deux épurateurs à sciure de bois et de quatre scrubbers au coke; trois cuves sont mises en batterie sur une même ligne. Elles marchent au coke; les gaz produits sont recueillis dans un gazomètre unique de 50 mètres cubes de capacité.

Les gazogènes ont une section de 0,4225 mètre carré; la hauteur de la charge est de 1,35 mètre; la grille mesure 0,568 mètre carré. Les couvercles sont réfrigérés par une couche d'eau de 2 centimètres d'épaisseur, constamment entretenue par un mince filet de liquide. L'insufflation se fait par un injecteur à vapeur; la vapeur s'échappe par un orifice de 5 millimètres de diamètre, et débouche dans un tronc de cône renversé de 35 millimètres de diamètre au sommet. La surface de chauffe des chaudières est de 5 mètres carrés; la surchauffe se produit dans un serpentín d'une surface de 2,62 mètres carrés.

La puissance totale de la station de Bâle a atteint 1.560 chevaux; c'est une des plus belles qu'on ait pu signaler.

Mais cette installation appartient à l'histoire des gazogènes, car il y a des années que les constructeurs allemands ont donné la préférence aux appareils à aspiration, avec chaudière supérieure, trémie à robinet ou à soupape, entrée d'air par le dessus, venant lécher la surface de l'eau du vaporisateur, amenée de l'air saturé sous la grille, ventilateur à main pour les mises en route et autres dispositifs généralement en usage aujourd'hui.

La Société de moteurs à gaz et d'industrie mécanique, qui a renié toute accointance avec les ingénieurs de Deutz, exploite actuellement un nouveau modèle qui présente quelques particularités à signaler. Le cendrier porte une plaque circulaire, munie de barreaux de grille en son centre, et dont le pourtour forme rigole étanche. Un injecteur y projette de l'eau, qui humecte les cendres accumulées sur cette grille; d'autre part, le vaporisateur amène de la vapeur par un tuyau, portant un robinet de réglage. La paroi intérieure du vaporisateur est prolongée pour recevoir la trémie de chargement et former un espace pouvant contenir la quantité de charbon nécessaire pour un fonctionnement de quelques heures.

On revendique une grande constance de qualité du gaz engendré en vertu de la disposition du robinet de vapeur, qui proportionne automatiquement la vapeur donnée au cendrier, et de la plaque à rigole, où la vaporisation est d'autant moins active que le feu est moins vif.

A partir de 80 chevaux, ces gazogènes sont munis d'une cloche, logée au centre du vaporisateur, destinée à produire l'appel de gaz au centre du combustible.

### 3. Gazogène Lencachez.

Je devrais mettre le mot gazogène au pluriel, car Lencachez a produit une œuvre multiple et d'une étonnante variété. L'éminent ingénieur a eu



beaucoup d'idées, des idées successives, desquelles on pourrait dire que quelquefois l'une chassait l'autre; d'autre part, sa notoriété lui valait d'être appelé à traiter des problèmes extrêmement différents, et d'approprier ses créations à des applications très diverses.

Il consacra d'abord son infatigable activité à perfectionner les gazogènes Siemens; plus tard, quand le moteur à gaz demanda des gaz aux gazogènes, Lencauchez s'intéressa vivement à cette orientation nouvelle de la gazéification, que rien n'avait pu lui faire prévoir au début de sa longue carrière.

Il débuta dans cette voie en imaginant une prise centrale, dentelée à sa section inférieure pour empêcher les gaz de suivre les parois intérieures de la cuve, et de monter le long des cheminées qui tendent toujours à s'y former; la dentelure ne leur permet pas de former de grosses bulles et elle opère un brassage utile de leurs éléments; enfin, les charbons introduits par les trémies s'échauffent et distillent leurs produits volatils, qui sont contraints de venir prendre contact avec le coke incandescent, avant de rejoindre les gaz débités.

On pourrait trouver dans ce dispositif l'idée du tirage renversé, dont on aurait pu lui disputer la priorité, mais au développement de laquelle il a certainement contribué.

Dans ce gazogène, la grille est double. Il y a d'abord des barreaux à gradins, disposés en face des portes; au moment du décrassage du feu, on déplace ces barreaux et l'on peut même les retirer, si le besoin s'en fait sentir. Cette grille forme un cratère au fond duquel se trouve une grille ordinaire, dont les barreaux, à longue queue, sont constamment réfrigérés par l'eau amassée au fond du cendrier. Dans quelques appareils de Lencauchez, cette seconde grille était absente et les scories s'appuyaient directement sur le radier de fond.

J'avais eu l'occasion, en 1888, de mettre Lencauchez en relation avec Delamare-Deboutteville et avec les chantiers de la Buire à Lyon, concessionnaires du moteur Simplex, qui tenait alors le premier rang parmi les moteurs français. De cette collaboration naquit le gazogène soufflé, connu sous le nom de gazogène Buire-Lencauchez; le vent était donné par un ventilateur actionné par le moteur. Lencauchez fit construire ensuite un appareil à grille en toit et soufflage central : la grille émerge d'une cuvette pleine d'eau, fermant la cuve à sa partie basse par un joint hydraulique; les cendres et les scories glissent sur le toit en fonte et s'accumulent dans le cendrier. Deux portes opposées permettent de nettoyer le feu et de détacher les mâchefers qui s'attachent aux fontes et aux terres réfractaires.

Ce modèle fut légèrement modifié pour l'Exposition de Paris de 1900; une seconde grille soutenait les cendres. On aurait peine à dire aujourd'hui à quelle préoccupation obéissait l'inventeur en adoptant ce modèle. Une chaudière centrale fournissait abondamment la cuve de vapeur d'eau et, par sa position même et celle de la prise des gaz, elle obligeait les produits volatils de la



distillation de traverser l'atmosphère oxydante, qui les transforme en gaz permanents.

#### 4. Gazogène Pierson.

MM. J. et O.-G. Pierson avaient représenté en France le gazogène Dowson, puis ils devinrent les agents de la puissante maison Crossley : après avoir vendu pendant des années les productions des maisons étrangères, ils se mirent eux-mêmes à en fabriquer, et ils réussirent. Leur expérience leur avait démontré la vanité des inventions hasardeuses; ils s'appliquèrent surtout à réaliser une construction rationnelle des producteurs et de leurs appareils, dont la forme s'est modifiée avec le temps, mais qui est restée très étudiée et toujours bien comprise.

Le gazogène Pierson à aspiration est ouvert par le bas; le combustible repose sur une base mobile, constituée par une sorte de tabouret en fonte, dont la table forme un piston, auquel un levier peut donner un mouvement de monte et baisse. Si l'orifice d'entrée de l'air, placé à la partie inférieure de la cuve, au niveau du tabouret, vient à s'obstruer, en marche, par des cendres adhérentes ou des mâchefers, on donne quelques coups de levier et on débouche ainsi l'ouverture; la conduite du feu est favorisée grandement de la sorte. La trémie de chargement présente un grand volume et l'on n'introduit de charbon que trois fois le jour.

La chaudière entoure le foyer; les garnitures réfractaires sont donc supprimées en ce point. La vaporisation est fonction de la température du feu; le réglage est automatique. Cette chaudière, construite en deux pièces, emboîtées l'une dans l'autre, est à dilatation libre. Elle est alimentée par un petit réservoir à niveau constant, disposé contre un des pieds de la cuve.

La tubulure de chargement est à joint hydraulique; la fermeture est donc parfaitement étanche.

L'air aspiré par le moteur pénètre dans la cuve par la base, et traverse le combustible de bas en haut; une soupape introduit la vapeur dans le courant. Le gaz formé s'échappe par le côté supérieur de la cuve, redescend au barillet et remonte ensuite dans le laveur. Ce laveur est divisé en six compartiments dans lesquels l'eau tombe en large nappe étalée; il se fait ainsi un brassage mécanique du gaz, qui le dépouille de ses poussières; l'eau les entraîne avec elle, sous forme de boues, dans le barillet inférieur. Le laveur est surmonté d'un séparateur-sécheur, que le gaz parcourt encore deux fois, de bas en haut et de haut en bas, avant d'être conduit au moteur. L'épuration s'effectue bien dans ces appareils qui sont moins compliqués que cela ne paraît de prime abord : cette épuration complète est la deuxième caractéristique de l'appareil.

Mais voici sans doute sa particularité la plus saillante et la plus efficace.



L'aspiration d'air restant constante, le volume de vapeur introduit est réglé automatiquement et méthodiquement par un mécanisme spécial. C'est qu'en effet, dans la commande des moteurs à quatre temps, réglés par admission de tout ou rien, il est nécessaire de doser la quantité de vapeur suivant que le nombre d'admissions est plus ou moins grand. Dans la marche à vide, il ne faut presque plus de vapeur; à pleine charge, il en faut davantage. Or, cette variation s'obtient aisément par le jeu d'une soupape, dont le mouvement est commandé par le gonflement d'un diaphragme, qui se déprime par l'effet de l'aspiration du moteur. Lorsque le moteur peu chargé fait, par exemple, une aspiration sur quatre, la dépression est plus faible, et le diaphragme moins concave referme la soupape à vapeur. Le débit de vapeur est donc modéré par une sorte de cataracte qui fonctionne à coup sûr et fort simplement, quel que soit le mode de réglage du moteur.

Depuis lors, les gazogènes Pierson ont pris une forme plus ramassée qu'au début, et la cuve ressemble à une sorte de chaudron. Sa hauteur est donc très réduite. Elle est surmontée d'un récipient cylindro-conique de grande capacité, terminé à sa partie inférieure par un tuyau, qui fait descendre le combustible dans la cuve au fur et à mesure de sa combustion; il est fermé en haut par un couvercle circulaire, appliqué sur son siège par un étrier et une vis de pression. Ce récipient peut renfermer la provision de charbon nécessaire pour une marche ininterrompue de dix heures, de sorte que le conducteur n'a pas à charger l'appareil au cours de la journée. D'autre part, le gazogène est sans grille et le feu repose encore sur une sole indépendante de la cuve et amovible, constituée par un carreau réfractaire inséré dans un socle de fonte logé entre les pieds du gazogène. On fait tomber le feu, en le retirant.

Les constructeurs préconisent le chargement en une seule fois. L'absence de grille et de chamotte réfractaire dans le foyer réduit la formation de mâche-fers, ne permet pas aux scories d'adhérer et facilite singulièrement le décrassage; les matières volatiles ne distillent qu'au moment où les grains de charbon tombent dans la cuve.

MM. Pierson préconisent la marche en allure froide et donnent près de 1 kilogramme de vapeur d'eau par kilogramme de charbon : nous avons dit ci-dessus ce qu'il faut penser de cette pratique et quels sont ses avantages et ses inconvénients.

À sa sortie de la cuve, le gaz est dirigé sur son barillet, puis il entre par le bas dans un condenseur-laveur à étages, formé d'éléments démontables; le gaz est parfaitement divisé, et il prend un large contact avec l'eau et les chicanes accumulées sur son chemin. Les deux éléments supérieurs non arrosés servent à dessécher le gaz. Ce système de laveur consomme moins d'eau que les scrubbers à coke et lave aussi bien.

L'épuration a toujours fait l'objet des plus grands soins de la part de MM. Pierson, qui donnent une grande surface aux caissons à sciure et à matière épurante.



En sortant de l'épurateur, le gaz traverse un gros robinet à trois voies, qui communique d'une part avec le moteur et de l'autre avec un ventilateur Root opérant la mise en marche par aspiration, et non par insufflation, comme cela a lieu d'ordinaire. Ce ventilateur se manœuvre à la main et refoule à la cheminée les fumées produites à la mise en feu : aussitôt que le gaz est reconnu de qualité satisfaisante, on tourne le robinet et le moteur peut marcher à vide, soit au bout d'un quart d'heure au plus; il est possible de le charger aussitôt après.

Il est à noter que dans ces gazogènes à foyer ouvert l'aspiration ne rencontre que le minimum de résistance.

Le gazogène Pierson se construit depuis une puissance de 150 chevaux jusqu'à 4 chevaux; ce dernier appareil présente un réel intérêt par ses dimensions réduites : monté sur un socle de fonte, il occupe un emplacement de 1 m. 20 sur 0,60. Si on le compare aux carburateurs à essence, il est extrêmement économique, attendu qu'il ne consomme, par journée de dix heures, que pour 1 franc de charbon (prix d'avant-guerre). MM. Pierson lui ont donné le nom caractéristique de carburateur à charbon.

Un somptueux catalogue, brillamment illustré, très discret du reste sur les dispositions intérieures des appareils, fait connaître les multiples applications de ces gazogènes. Ils se construisent dans de vastes ateliers, situés à Levallois, couvrant 6.000 mètres carrés de terrain.

## 5. Gazogènes Letombe.

Le nom de Letombe mérite de prendre place à côté de celui de Lencachez, car il a, lui aussi, grandement contribué au développement de la gazéification : comme son émule, il n'était jamais satisfait de ce qu'il venait de réaliser, et il était toujours en quête de mieux; aussi a-t-il imaginé de nombreux modèles de gazogènes, dont quelques-uns n'ont existé que dans les projets de leur fécond inventeur.

Je crois que son premier gazogène remonte à l'année 1894. C'était un appareil soufflé par un ventilateur Root, que les mémoires de Letombe spécifient de gazomètre « à pulvérisation d'eau dans l'air insufflé »; il mérite d'être décrit, bien qu'il soit déjà ancien.

Le vent soufflé entre dans le gazogène par le haut, en *a* (fig. 127) et il circule dans un serpentin qui s'enroule autour de la cuve *f*, formée par une garniture de briques réfractaires. Ce serpentin est noyé dans une couche de sable tassée entre la garniture réfractaire et la chemise de tôle extérieure.

Un filet d'eau, débité par *b*, et réglable à volonté, coule dans la partie supérieure du serpentin et fournit la vapeur nécessaire aux réactions. Cette vapeur est entraînée par le courant d'air et elle se surchauffe dans le serpentin; elle



constitue d'ailleurs un mélange très intime avec l'air. Des précautions sont à prendre, il est vrai, pour éviter toute obstruction du serpentin par incrustation de calcaires ou autrement.

La trémie, de forme *cupe and cone*, effectue une bonne répartition du charbon dans la cuve. Celle-ci est cylindrique, mais elle se termine dans le bas

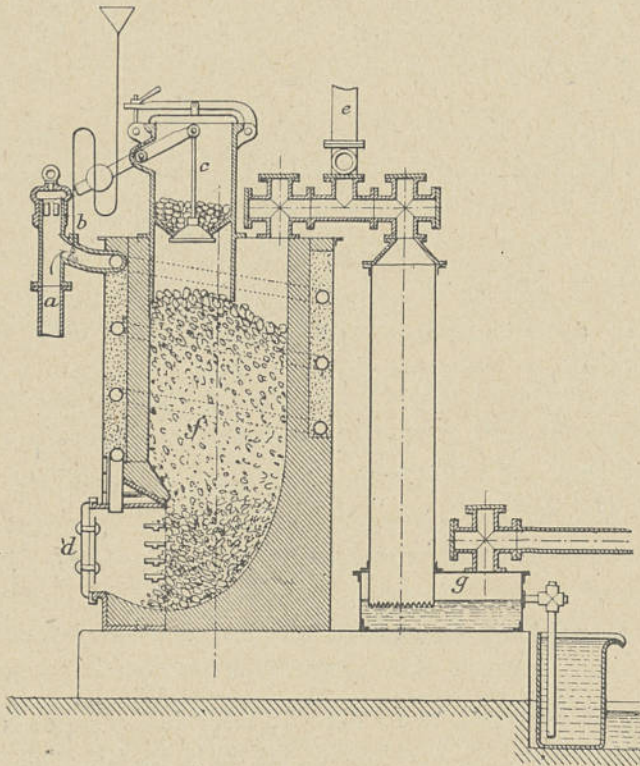


Fig. 127. — Gazogène Letombe.

par une partie incurvée qui fait glisser le charbon incandescent vers une grille verticale placée sur l'avant. La porte est fermée par la plaque *d*, qui masque la grille; elle permet un complet et facile dégrassage.

Les gaz s'échappent par le haut; *e* est une cheminée d'allumage.

A la suite du gazogène se trouvent les appareils de lavage et d'épuration, constitués par un laveur à barillet *g* et une colonne à coke. Le ventilateur d'insufflation n'est pas figuré sur notre dessin.

Le mode d'humidification employé était, au dire de Letombe, le plus efficace, et il en donnait

pour preuve que la scorie produite était légère et friable, comme la scorie « pourrie » des verriers; il faisait ressortir encore que la cloche de son gazomètre, au lieu d'avoir un volume minimum égal au tiers de la production horaire, avait pu être réduite à moins du quart. Par contre, il omettait de faire remarquer que l'on ne pouvait introduire dans son serpentin que de l'eau très pure, sinon il était rapidement bouché.

Le dégrassage de la grille Letombe se fait avec une remarquable facilité quand on en a acquis le tour de main.

Les essais que j'ai effectués en janvier 1902 sur ce gazogène, ont témoigné de ses remarquables qualités et ont fait ressortir l'économie qu'on peut obtenir par une récupération complète des chaleurs perdues. La suppression d'une chaudière spéciale fait gagner au moins 50 grammes de combustible par cheval-heure effectif, soit par 2,500 litres de gaz.



Letombe a pu employer des charbons de nature diverse, dans les meilleures conditions; la facilité qu'il a de faire varier à volonté et suivant qu'il en est besoin la pression du vent et le débit de vapeur, indépendamment l'un de l'autre, permet de gouverner l'allure du feu et d'éviter les scories fusibles, qui collent et s'agglutinent dans la cuve. Deux gazogènes à grande production ont fonctionné continûment avec du charbon maigre des Alpes, renfermant 55,42 % de carbone fixe et volatil et 44,58 de cendres : ce résultat est remarquable. Les cendres renfermaient 67 de silice, 17 d'alumine, 10 de peroxyde de fer et le reste de chaux, magnésie, etc.

Letombe modifia ultérieurement son gazogène, pour permettre mieux encore de traiter les charbons très chargés de cendres.

Ce nouvel appareil (fig. 128) se compose encore d'une cuve cylindrique revêtue en terre réfractaire, avec trémie de chargement à fermeture double : mais le feu ne repose pas sur une grille horizontale. En face de deux ouvertures opposées 6 et fermées par des portes, se trouve un barrage, empêchant l'éboulement du combustible; il est formé de barreaux plats 7, disposés verticalement les uns au-dessus des autres, amovibles sur leur support, pouvant être avancés, reculés ou enlevés à volonté. Le fond du foyer est constitué par une fausse sole, formée de plaques réfractaires, supportées par des tasseaux de même matière, 10 et 11.

Au niveau de cette sole débouchent quatre tuyères 13, soufflant le vent dans une direction perpendiculaire à celle des portes; elles sont alimentées par le canal annulaire 17, entourant la cuve; elles sont protégées par des voûtes en terre réfractaire 12. L'air qu'elles injectent dans le feu est convenablement chargé d'eau pulvérisée, débitée par une enveloppe du tuyau de sortie du gazogène 23, dans laquelle est maintenu un niveau constant par 22 et 21; cette eau se trouve à une température élevée.

Le gaz s'échappe par la canalisation 32 et il se débarrasse de ses poussières contre les chicanes 27 de la boîte 28; la moitié des chicanes est portée par le couvercle; la boîte est à injection d'eau.

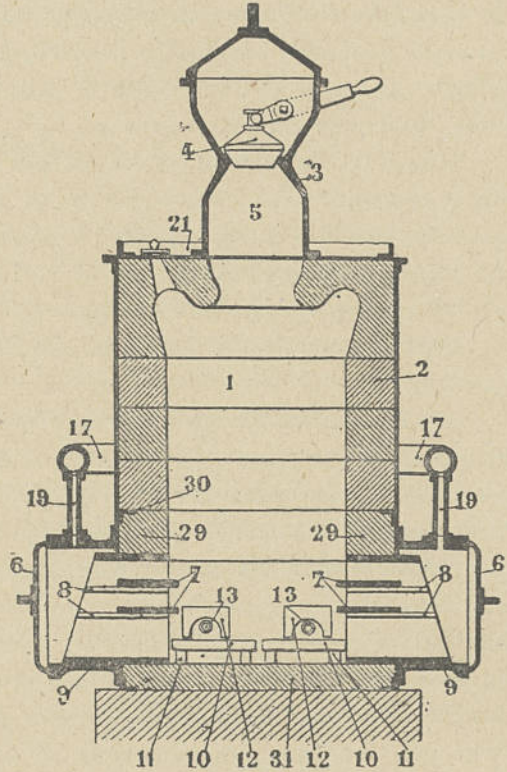


Fig. 128. — Nouveau gazogène Letombe.



Ce gazogène Letombe a pour caractéristique principale la grande facilité qu'il présente pour les décrassages du foyer : voici comment s'effectue cette opération, toujours délicate quand on emploie des combustibles de qualité inférieure; on arrête le vent, puis on ouvre la cheminée en même temps qu'on ferme les vannes de communication des gazogènes avec la tuyauterie; on peut alors ouvrir une porte. Avec un ringard, on détache les scories qui se sont agglomérées sur la fausse sole et on les retire à l'aide d'un crochet; au besoin, on enlève les barreaux de la fausse grille. Souvent il faudra détacher les scories du pourtour du foyer, en évitant d'attaquer la garniture réfractaire, qui est du reste protégée à la partie inférieure. Les barreaux étant remis en place, on referme la porte et l'on répète le même travail par l'autre porte; le gazogène peut alors être remis en service.

Il importe de faire observer qu'une dérivation de courant d'air, prise en 19, sur la couronne 17, vient rafraîchir les portes et évite les remous de gaz chauds dans le vestibule compris entre la plaque de fermeture 6 et la grille 7 : de plus, un regard à clapet battant 13, 14 et 15 permet de dégager les tuyères. au cas où des scories viendraient se concrétionner devant elles et arrêter le vent.

Tout cet ensemble est très étudié et présente un caractère réellement pratique.

Les résultats obtenus avec cet appareil sont intéressants, et nous signalerons ceux que nous avons relevés, en collaboration avec M. Eugène François, au cours de nos essais du Thiriau, en décembre 1907; Letombe avait réussi à tirer parti de déchets des fours à coke de Bois-du-Luc, qui étaient fort menus, décrépitants, friables et de plus chargés de 22 % d'eau et de 23 % de cendres, et exigeaient de fréquents nettoyages des foyers. Ils furent utilisés pour alimenter une batterie de trois producteurs, dont l'un servait tour à tour de rechange; on procédait à son décrassage pendant qu'il était hors de service; cette marche alternée est recommandable pour de grandes installations du genre de celle dont nous parlons, qui alimentait un moteur de 700 chevaux. Le gaz produit renfermait 29,5 d'oxyde de carbone, 3,7 d'hydrogène et 1,7 de méthane; son pouvoir, déterminé à ma bombe eudiométrique, fut trouvé égal à 1.196 calories, alors que l'analyse donnait 1.170. La composition de ce gaz démontre qu'on fournissait extrêmement peu de vapeur d'eau : Letombe l'estimait à 180 gr. par kilogramme de carbone consommé.

Plus tard, Letombe imagina un gazogène à aspiration compensée. L'appel d'air, déterminé par le moteur, se fait sous dépression constante, quelle que soit et que devienne la perméabilité de la colonne de combustible accumulée dans la cuve.

A cet effet, le ventilateur dont sont munis aujourd'hui tous les gazogènes en vue de leur allumage est disposé de manière à pouvoir être mû par le moteur. Sur les conduites, entre gazogène et moteur, on place en dérivation un régulateur à cloche équilibrée partiellement, pour maintenir au gaz une pression



légèrement supérieure à la pression atmosphérique, de telle façon qu'au repos la cloche ait une tendance à demeurer au haut de sa course. Chaque fois que le moteur aspire, la cloche fait un mouvement pour descendre, et ce mouvement est utilisé par un jeu de leviers approprié pour ouvrir des papillons, permettant soit au ventilateur foulant, soit à l'aspirateur, de fonctionner en plein pour compenser la dépression causée par l'appel du moteur, en surmontant les charges variables du gazogène et des appareils laveurs et épurateurs mis à sa suite.

Le régime d'aspiration du moteur ne varie donc pas et rien n'empêche, du chef du producteur de gaz, qu'il ne développe continûment le maximum de sa puissance.

### 6. Gazogène Gardie.

Gardie a créé un gazogène soufflé à haute pression; l'air est débité par un compresseur spécial à piston, sous une pression de 6 à 7 kilogrammes, et il est mélangé de vapeur d'eau à une tension égale, très chaude par conséquent. Telle est la note caractéristique de cet ingénieux appareil; dans les autres producteurs de gaz pauvre, la pression ne dépasse guère 20 à 30 centimètres d'eau : l'écart est donc énorme. L'emploi de ces pressions élevées est rationnel, car on ne peut nier que l'allure d'un appareil soufflé ne soit tout autre, quand la pression est considérable; l'action de l'oxygène et de l'acide carbonique sur le carbone incandescent est plus énergique, et la combustion plus méthodique. Par contre, le procédé a ses inconvénients : la compression de l'air absorbe beaucoup de travail et complique l'appareil.

Le gazogène Gardie a la forme d'un cubilot : le charbon est soutenu par les *étalages*, et il n'est pas nécessaire de le faire reposer sur une grille, ce qui est une simplification. L'air comprimé, mêlé de vapeur d'eau, débouche dans la cuve par une couronne de tuyères.

Les gaz s'échappent par la partie supérieure du cubilot; ils chauffent d'abord un serpentin traversé par la vapeur d'alimentation, qui se trouve ainsi surchauffée sans qu'il en coûte rien, par l'utilisation des chaleurs perdues. Le courant gazeux débouche ensuite dans un cylindre nettoyeur, de forme absolument rudimentaire, mais d'une efficacité remarquable cependant, car il arrête toutes les poussières. Il se compose simplement d'un tuyau évasé descendant jusqu'aux deux tiers de la hauteur de l'enceinte cylindrique; l'air revient sur ses pas pour atteindre l'orifice de dégagement, qui est placé à la partie supérieure du cylindre, et il se dépouille de ses impuretés. Cette enceinte est aussi garnie d'un revêtement réfractaire.

L'air d'injection est chauffé dans un récupérateur, traversé en sens inverse par les gaz de la décharge du moteur; on réalise ainsi une haute température de gazéification, qui est avantageuse, parce que d'une part elle utilise le calo-



rique perdu et que de plus elle permet d'augmenter la proportion de vapeur d'eau injectée. Le gaz formé renferme, par suite, une forte proportion de gaz à l'eau. L'absence de grille au gazogène supprime les inconvénients qui accompagnent généralement l'emploi de l'air surchauffé.

De fait, le gaz Gardie est relativement riche; j'ai déterminé à plusieurs reprises son pouvoir calorifique par le procédé de ma bombe eudiométrique et lui ai trouvé de 1.400 à 1.500 calories par mètre cube de gaz, à 0° et 760 millimètres, le combustible employé étant de l'antracite anglais d'excellente qualité. Il ne se produit ni goudron, ni produits ammoniacaux. Ce résultat était à prévoir. Mais ce qui était moins prévu, c'est la faible quantité de scories formées dans la cuve du gazogène après une marche de vingt-quatre heures; malgré la haute température de l'appareil, il se développe peu de mâchefers fusibles et ils se ramassent dans le cendrier sous un très faible volume. Le nettoyeur renferme lui-même peu de cendres. Ces heureux résultats ont permis de supprimer les scrubbers, les épurateurs, et les colonnes à coke qu'on dispose généralement entre le gazogène et le moteur; bien plus, on peut se passer de cloche, ce qui est un perfectionnement notable, car le gazomètre est toujours encombrant. En le supprimant, on se prive, il est vrai, de la régulation produite par le mélange des gaz de qualité différente qui peuvent être fournis.

Le gazogène Gardie a été exposé en 1900, à l'annexe de Vincennes. Bien qu'il eût été imaginé spécialement en vue d'alimenter un moteur spécial à combustion, il avait pu être appliqué avantageusement au service de moteurs à explosion à quatre temps, moyennant de légères modifications.

## 7, Gazogène Winterthur.

Cet appareil à aspiration a été étudié et établi par la Société suisse de construction de locomotives et de machines de Winterthur.

La cuve du producteur (fig. 129) présente une forme particulière; sa partie inférieure A, garnie de terres réfractaires, est de faible hauteur, mais elle est surmontée d'un magasin P dans lequel se trouve une réserve considérable de charbon. Les appareils de vaporisation d'eau et de chauffage de l'air entourent ce magasin. La cuve proprement dite est cylindrique sur une partie de sa hauteur et conique à sa base; la garniture S est en 8 parties, tandis que le cône O n'est coupé qu'en 6 segments; une couche de sable est tassée entre les terres et l'enveloppe métallique. La grille C est séparée de la base de la cuve par un intervalle R, sur lequel donnent des regards U, permettant le décrassage du feu.

La chaudière, dans laquelle se forme la vapeur, est constituée par une enceinte annulaire en fonte V, alimentée par un appareil doseur H que nous



décrivons plus loin; l'air s'échauffe en traversant une cavité B, ménagée dans le couvercle. La vapeur et l'air se réunissent dans le conduit vertical descendant *b*, et arrivent sous la grille C par la valve *K*.

Lors de l'allumage, cette valve est fermée et l'air, insufflé par le ventilateur à main *G*, suit le chemin *Kn*, monte dans la cuve et gagne la cheminée, avec

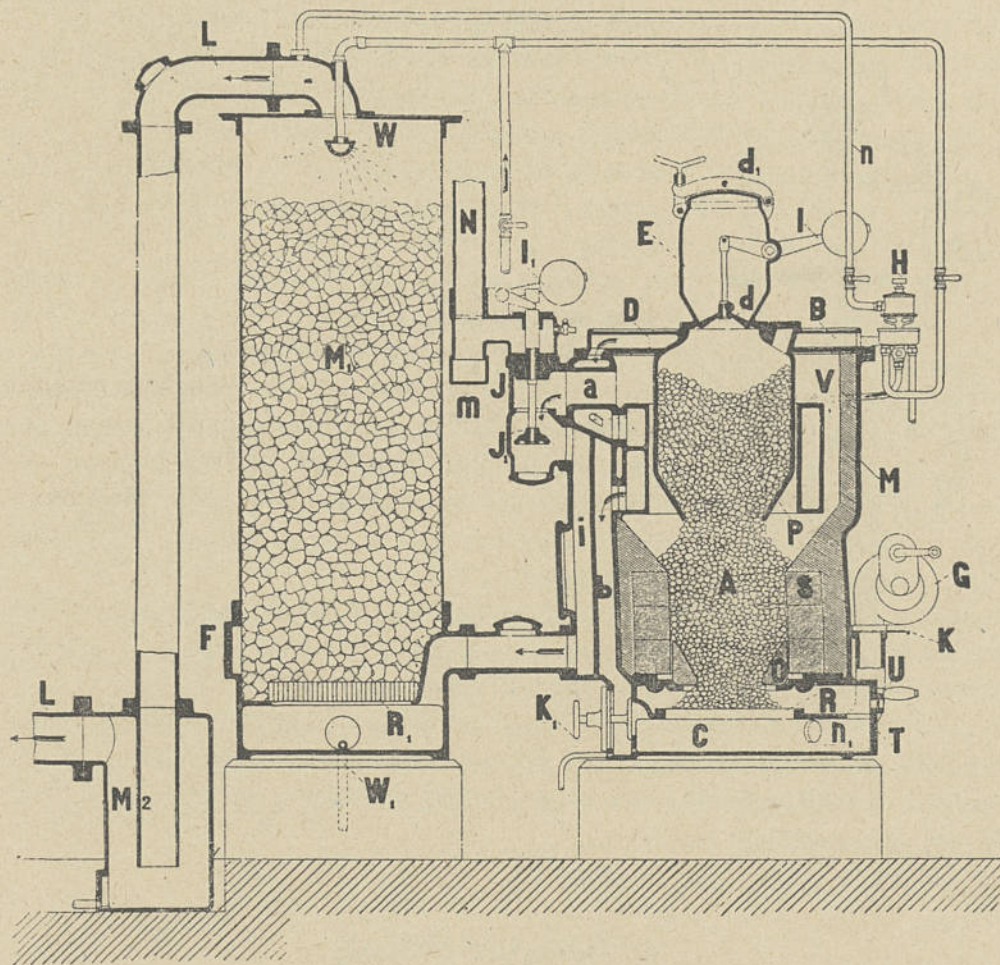


Fig. 129. — Gazogène Winterthur.

les fumées produites, par *aJN*; *J* et *J*<sub>1</sub> sont deux soupapes inversibles, dont la position est commandée par le contrepoids *I*<sub>1</sub>, que l'on manœuvre au moment du soufflage et de la mise en route du moteur. Le contrepoids assure la fermeture hermétique de l'une ou de l'autre soupape.

Le doseur d'eau, représenté en détail sur la figure 130, a pour fonction de fournir à la chaudière annulaire *V* la quantité d'eau qui est nécessaire, suivant les besoins du fonctionnement et proportionnellement au volume d'air aspiré.

L'organe régulateur est constitué par la membrane *Y*, tendue à la partie



inférieure d'une chambre hermétique, à travers laquelle s'effectue l'appel d'air; cette membrane porte une soupape conique S, laissant passer l'eau contenue dans le bassin X et la faisant couler en *m*. La soupape ouvre ou ferme le conduit Sm, suivant que la membrane est levée ou abaissée; c'est l'aspiration d'air qui produit la levée; le débit d'eau est donc proportionnel à l'appel d'air. La course de la soupape est réglable par la vis Z. Un trop-plein limite d'autre part la hauteur de l'eau dans le bassin X.

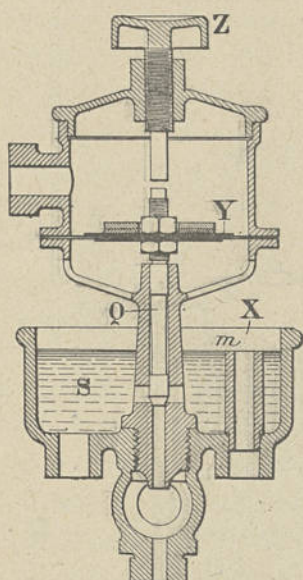


Fig. 130.  
Doseur d'eau Winterthur.

Le gaz va au scrubber par le conduit R<sub>1</sub>; la colonne de coke repose sur une grille en bois, à larges intervalles, qui arrête les fragments plus gros de la base du laveur. Le distributeur d'eau à crépine W effectue l'arrosage à la manière habituelle.

L'originalité de ce gazogène réside en somme dans la disposition de la cuve du producteur et dans l'emploi d'un doseur d'eau spécial : l'ensemble est bien étudié et de nature à donner de bons résultats. La conduite et l'entretien de l'appareil présentent de grandes facilités, ainsi que j'ai été à même de le constater par les expériences que j'ai effectuées sur une installation qui a donné entière satisfaction à tous égards.

De nouvelles modifications ont permis l'emploi de menus fragments de coke d'usine à gaz, dans d'excellentes conditions.

Il existe un autre modèle Winterthur, dont le cendrier, en forme de tronc de cône renversé, est prolongé par un cylindre vertical, qui plonge dans une nappe d'eau formant joint hydraulique, dans lequel se rassemblent les scories.

## 8. Gazogène Crossley.

Les grands constructeurs anglais ont eu longtemps partie liée, pour la production du gaz pauvre, avec la maison Otto et avec leurs représentants français, MM. J. et O.-G. Pierson. Plus tard, ils ont volé de leurs propres ailes et construit plusieurs modèles.

M. Marchis a mentionné, dans ses leçons de 1905, un appareil Crossley et Righby, dont il dit ce qui suit : « On s'est préoccupé de descendre suffisamment la grille au-dessous du revêtement réfractaire, afin d'éviter l'adhérence des mâchefers au point le plus chaud. La chaudière se trouve en haut du gazogène; son fond est garni de nervures circulaires, afin de multiplier l'étendue



de la chauffe. Au-dessus du plan d'eau, on a disposé une admission d'air réglable; le mélange d'air et de vapeur se surchauffe dans la garniture métallique inférieure de la cuve, d'où il est distribué au combustible un peu au-dessus de la grille, en se mélangeant d'un apport d'air surnuméraire réglable lui-même à volonté. Ces moyens de réglage sont bien entendus pour proportionner la fabrication aux besoins du moteur desservi. »

Le plus récent prospectus de la maison Crossley, représentée en France par MM. Diény et Lucas, donne la description d'un gazogène perfectionné fonctionnant par « aspiration à foyer ouvert ». Voici les éléments essentiels de cette construction. Le foyer est à gradins, comportant un certain nombre de barreaux plats circulaires placés en échelons, refroidis par courant d'eau; le feu est toujours visible et il est aisément accessible. Une longue trémie en fonte surmontant la cuve, constitue une forte réserve et permet de marcher plusieurs heures sans charger. Le vaporisateur d'eau est extérieur; il est à tubes Field à ailettes en fonte : on a pris soin d'assurer l'étanchéité de la fermeture de la trémie; on lui adjoint une alimentation automatique, réglée d'après la demande. Le laveur de gaz est à double cascade. Une chambre d'expansion est placée sur la conduite pour atténuer les fluctuations du débit; on peut la remplir de fibre de bois et en faire un épurateur.

Le prospectus revendique en outre une fermeture hermétique de la trémie, constituée par une soupape cylindrique, un réglage exact et méthodique de la distribution d'eau, l'existence de tampons de nettoyage et de nombreux détails moins intéressants, tels que la couverture des fers par une double couche de peinture et la fourniture d'une échelle. Cette remarque n'est pas une critique. Elle est faite pour montrer que MM. Crossley ne sont plus en quête de choses plus ou moins nouvelles, mais qu'ils s'efforcent par-dessus tout d'être pratiques. Leur prospectus est, du reste, fort discret sur les détails qui pourraient intéresser les concurrents, auxquels on fait savoir que « le générateur Crossley est le plus parfait du monde ».

### 9. Gazogène Kœrting.

La maison Kœrting a adopté une disposition spéciale pour l'utilisation des briquettes de lignite (*Braunkohlen-Brikett*), dont l'industrie allemande dispose dans les provinces rhénanes. M. l'ingénieur en chef Brauss a fait sur ce sujet une intéressante communication à la session du 16 mars 1906 des ingénieurs hanovriens. L'appareil Kœrting se compose essentiellement d'une cuve cylindrique d'assez grande hauteur, pourvue d'une grille à la partie inférieure, d'une trémie de chargement à la partie supérieure, avec départ du gaz vers la partie moyenne. La briquette distille vers la prise centrale ses produits volatils, au moment de son introduction dans la cuve; elle tombe à l'état de coke dans



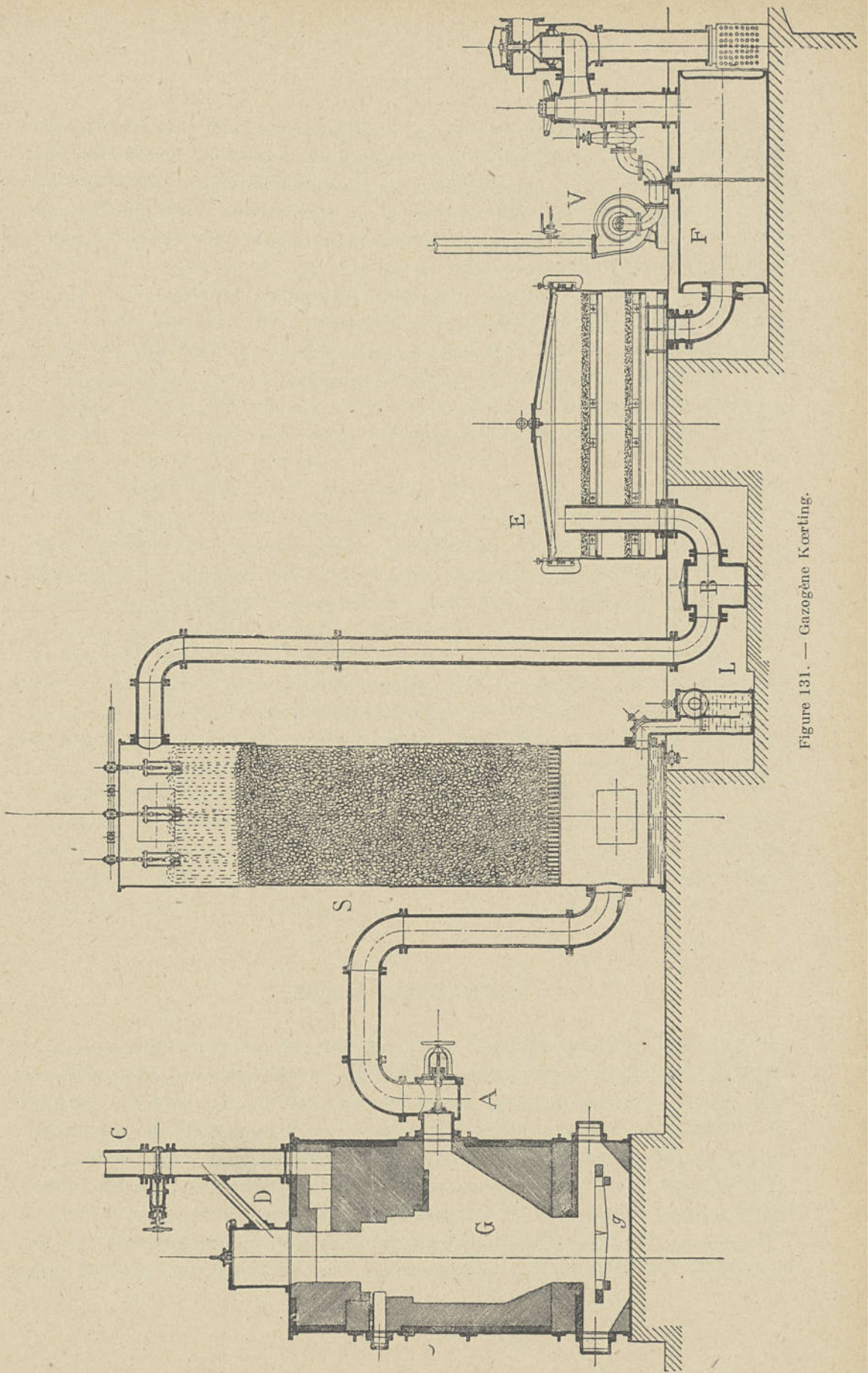


Figure 131. — Gazogène Kœrting.



la zone inférieure. Dans le haut, la combustion est renversée; dans le bas, on a un appareil à coke. Le secret de la conduite est de régler convenablement les quantités d'air et de vapeur à fournir par le haut et par le bas de la cuve. Le gazogène en lui-même est de la plus grande simplicité. L'humidité de la briquette est généralement telle qu'on n'a pas à se préoccuper de fournir de la vapeur d'eau au foyer.

La figure 131 fait voir ce gazogène muni de ses appareils laveurs et épurateurs; la légende ci-dessous complètera notre description :

- G, cuve du producteur;
- g, grille;
- C, cheminée de mise en marche;
- D, canal auxiliaire;
- A, valve à gaz;
- S, scrubber à coke;
- L, siphon de trop-plein d'eau;
- B, barillet;
- E, épurateur;
- V, ventilateur aspirateur;
- F, détendeur et sécheur.

Les valves qu'il faut manœuvrer pour opérer la mise en marche sont clairement indiquées sur notre dessin.

La figure 132 montre un autre modèle de gazogène, à chaudière à vapeur tubulaire latérale C, placée sur le chemin des gaz; S est une double soupape permettant de diriger les mauvais gaz à la cheminée R et le bon gaz vers le moteur. La prise d'air du moteur est figurée en K; J est le tuyau de décharge.

## 10. Gazogène Krupp.

Ce gazogène est spécialement construit pour extraire des gaz de combustibles franchement bitumineux.

L'aspiration est combinée avec une insufflation d'air auxiliaire.

L'appareil se compose de deux cuves superposées; le charbon chargé, à trémie ouverte, dans la cuve supérieure, se cokifie en traversant la zone moyenne de combustion et achève de brûler dans la cuve inférieure, de plus grand diamètre. L'appel de gaz se fait par le tuyau C (fig. 133); l'air aspiré vient par l'orifice G placé sous la grille E, cet air étant saturé de vapeur d'eau par un vaporisateur, qui n'est pas figuré sur le dessin, et qui peut être quelconque. Des canaux H, amènent d'ailleurs éventuellement de l'air comprimé par les tuyères H, dans la cuve supérieure; des robinets  $h_1$  permettent de régler à volonté cet afflux d'air surnuméraire.



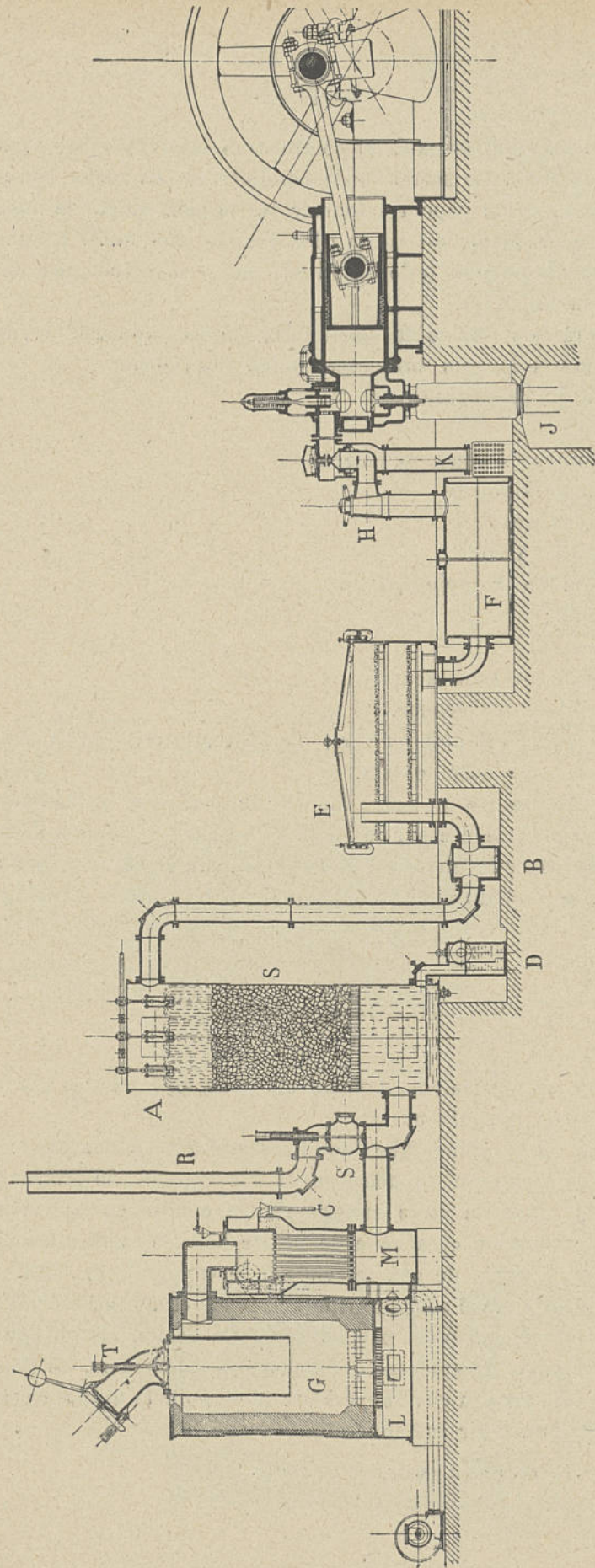


Fig. 132. — Gazogène Koerting à chaudière latérale.



Voici comment fonctionne ce gazogène. En marche normale, la cuve de chargement B, ainsi que la trémie, sont constamment maintenues pleines de charbon; les tuyères H donnent de l'air en même temps que l'orifice G, mais de manière à porter à l'incandescence le charbon dans la partie moyenne de l'appareil. Les produits de distillation traversent une couche incandescente et s'y transforment; d'autre part, l'acide carbonique, produit dans le bas de

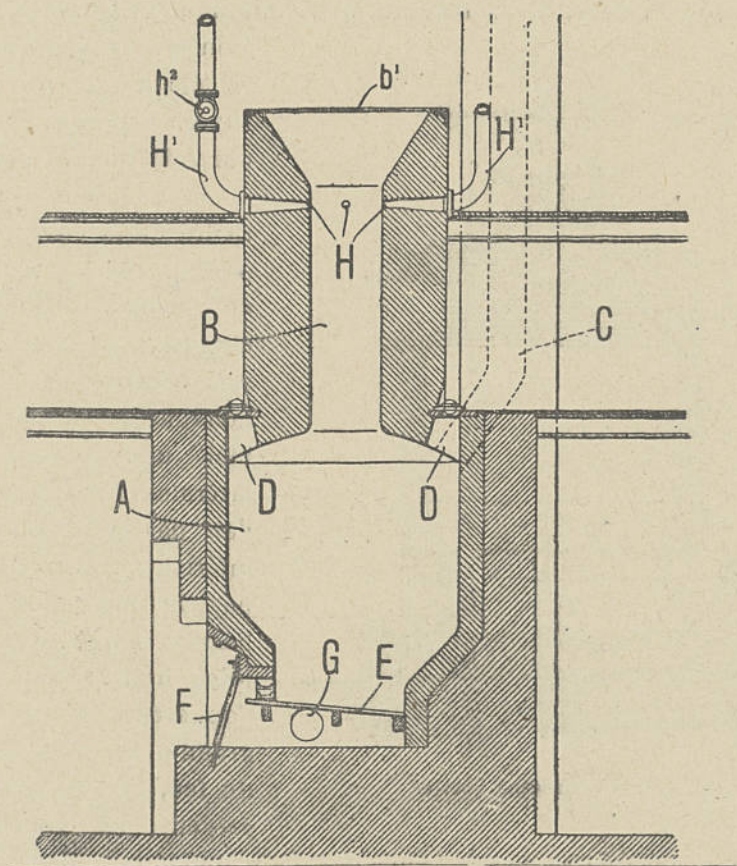


Fig. 133. — Gazogène Krupp.

la cuve, se réduit à la traversée du coke incandescent qui s'y accumule. Le bon fonctionnement dépend de la juste pondération établie entre les arrivées d'air par le haut et par le bas.

Quelle que soit la rapidité des chargements par la trémie, on peut toujours conserver au point voulu la zone de combustion, grâce à l'arrivée d'air sous pression par les tuyères supérieures H. Il faut évidemment pour cela que le conducteur ait acquis un certain tour de main; mais on voit qu'avec de l'habileté on peut réaliser une combustion renversée dans la partie supérieure, sans qu'on soit gêné aucunement pour l'extraction des mâchefers et des cendres,



qui s'opère par la porte EF : l'ouverture de cette porte n'apporte d'ailleurs aucun trouble dans la production du gaz.

### 11. Gazogène Poetter.

La maison Poetter, de Dortmund, s'est fait une spécialité de la construc-

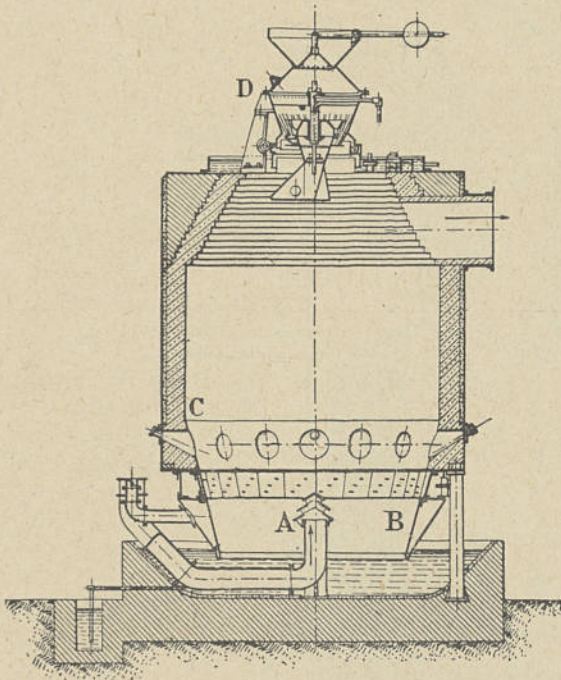


Fig. 134. — Gazogène Poetter.

tion des gazogènes en Allemagne, et elle a créé un modèle avec tuyère centrale, qui fonctionne dans de bonnes conditions.

L'air arrive à la partie inférieure de la cuve par le tuyau A (fig. 134), placé dans l'axe, et recouvert d'une série de chapeaux coniques, empêchant son obstruction par les charbons menus et par les cendres; mais une couronne de grilles latérales livre aussi passage à l'air par la périphérie. Le cône inférieur, terminant la cuve par le bas, plonge dans un bassin rempli d'eau, qui fait joint hydraulique et refroidit l'appareil; il en résulte de grandes facilités de décrassage du feu, car les scories se désagrègent. La vaporisation, qui

a lieu à la surface de ce bassin, fournit à l'air appelé la majeure partie de la vapeur dont il a besoin; mais, dans les appareils soufflés, on peut encore saturer d'eau l'air envoyé au gazogène. Les regards, distribués sur la base circulaire C, donnent au conducteur la possibilité de faire descendre le feu, quand il se forme accidentellement une voûte dans la zone de combustion.

Un appareil de chargement automatique D, placé sur le couvercle du gazogène, assure la continuité de l'introduction du combustible, et sa bonne répartition dans la cuve. Un broyeur est annexé au chargeur pour concasser le charbon en menus fragments, de dimension bien égale.

Pour témoigner de la bonne utilisation du combustible dans ce gazogène MM. Poetter font remarquer que la quantité de carbone combustible, mêlée aux cendres et scories, ne dépasse pas 1,3 % du combustible total chargé, ce



qui est un résultat méritant d'être signalé, car on retrouve trop souvent une quantité notable d'escarbilles dans les déchets des gazogènes.

## 12. Gazogène Piat.

*Optimus* est son nom : cela prouve tout au moins que son inventeur le juge excellent; de fait, on déclare dans les prospectus qu'on a réussi « à parer aux imperfections de tous les systèmes existants ».

Les conclusions du brevet français revendiquent : 1<sup>o</sup> la combinaison, avec un gazogène à aspiration, d'un doseur de vapeur formé d'un volet vertical équilibré, ne pouvant s'ouvrir qu'à la suite d'une dépression produite dans l'appareil; ce doseur peut être adjoint à une boîte de distribution à clapet double, faisant communiquer le foyer avec l'arrivée d'air; 2<sup>o</sup> la combinaison avec ce gazogène d'un vaporisateur à ailettes, à circulation d'eau constante, complètement entouré par les gaz chauds; 3<sup>o</sup> la combinaison, dans ce vaporisateur, d'un tube vertical fermé à sa partie inférieure, muni d'ailettes longitudinales, avec un second tube de petit diamètre renfermé dans le premier et l'alimentant d'eau froide; 4<sup>o</sup> l'application d'un réchauffeur saturateur d'air, de forme tronconique, servant à mélanger l'air et la vapeur et à réchauffer

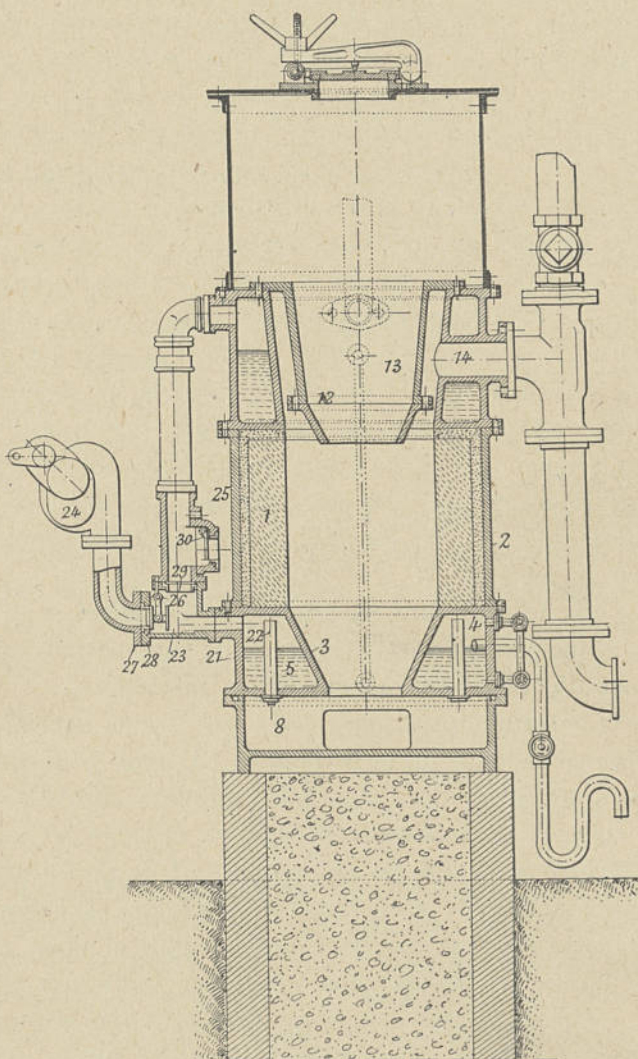


Fig. 135. — Gazogène Piat.



cet air par la chaleur du foyer, ce réchauffeur pouvant être pourvu à l'intérieur d'une couronne de tubes verticaux traversant l'eau contenue dans le saturateur, etc.

Signalons encore l'existence d'un doseur automatique de la quantité de vapeur admise, suivant la charge du moteur, en faisant varier en même temps le volume de l'air aspiré.

On voit sur la figure 135, les dispositions principales d'un gazogène Piat par aspiration.

La cuve garnie de terre réfractaire 1, à la façon habituelle, repose sur un bouilleur réchauffeur 3, de forme tronconique, en acier coulé, qui soutient le combustible et reçoit de l'eau 5, venant par un trop-plein du vaporisateur supérieur 13, chauffé par la sortie du gaz 14 : la hauteur du liquide est limitée par le déversoir à siphon 4. Ce bouilleur joue le rôle de saturateur; en effet, dès la mise en marche du gazogène, cette capacité est traversée par l'air envoyé dans le cendrier par le ventilateur, puis appelé par l'aspiration du moteur; cet air traverse les tubes verticaux 22, ouverts aux deux bouts.

Le doseur se voit sur la gauche du dessin; il est formé d'une boîte de distribution 23, faisant communiquer le foyer avec le ventilateur de mise en marche 24 ou bien, en marche normale, avec la prise d'air 25. La distribution est opérée au moyen du clapet double 26 articulé sur le levier 27, de manière à toujours bien s'appliquer sur son siège. L'air soulève le battant 30, dont la course est limitée par une vis de butée, et qui oblige la vapeur à descendre au vaporisateur supérieur en plus grande quantité, aussitôt que la charge du moteur croît. C'est ainsi que la quantité de vapeur est proportionnée au travail développé par le moteur.

On notera, dans ce gazogène, l'absence de grille : le cendrier 8 a peu de hauteur pour permettre l'emploi de combustible très menu. Deux portes permettent d'enlever les cendres et les mâchefers.

La trémie supérieure 13 a une forme spéciale : elle est en deux parties, réunies par une bride boulonnée 12, dont le diamètre est tel qu'il ne reste, sur le pourtour, qu'une couronne annulaire dont la section est strictement égale à celle de la tuyauterie de gaz 14. D'après les constructeurs, cette disposition doit empêcher que les gaz ne passent de préférence du côté de la sortie, et elle doit assurer une réduction bien uniforme. D'autre part, la partie inférieure du magasin de charbon est beaucoup plus conique que la partie supérieure, afin de laisser un dégagement également facile aux gaz en tous points.

Dans quelques gazogènes Piat, le vaporisateur supérieur n'est pas imposé au-dessus de la cuve, mais il est placé sur le côté, et chauffé par le passage des gaz. Il se compose d'un cylindre vertical en fonte, dans l'axe duquel est placé un tube concentrique à ailettes; ce tube, rempli d'eau, est entouré entièrement par les gaz chauds qui sortent de la cuve; l'alimentation d'eau s'effectue par un petit tuyau de fer central, qui descend jusqu'au fond du tube à ailettes



et assure une circulation très active du liquide. L'eau atteint facilement la température de 100°, en pleine marche; elle coule en mince filet dans le réchauffeur saturateur inférieur.

Le gazogène Piat alimentait de gaz pauvre un moteur Benz, construit par la même maison, au concours organisé en décembre 1906, par la Commission technique de l'*Automobile-Club de France*; une médaille d'or a été décernée au groupe.

J'ai été appelé à faire des essais de réception sur un gazogène Piat, alimentant d'une part un moteur Benz et de l'autre divers appareils de chauffage; l'installation comprenait à la suite du producteur, un laveur à coke et un autre à fibre de bois avec un aspirateur Root, faisant office d'exhausteur. De plus, un régulateur de pression était branché après l'aspirateur et il agissait sur l'ouverture d'une soupape de réglage faisant communiquer le refoulement de l'aspirateur avec le tuyau d'amont, de telle sorte que lorsque le débit de l'aspirateur est supérieur à la demande de gaz, il fait monter le régulateur de pression, petit gazomètre qui ouvre la soupape de réglage et permet à l'excès de gaz de repasser du refoulement à l'aspiration. A la sortie de l'aspirateur, le gaz est dirigé dans une conduite portant d'un côté une vanne de gaz, permettant d'envoyer celui-ci aux appareils de chauffage, et de l'autre côté un départ vers un antipulsateur, précédant un moteur de 35 chevaux.

On avait garanti pour le gazogène un rendement de 75 % pour une consommation comprise entre 24 et 50 kilogrammes par heure; le diamètre de la cuve mesurait à la partie supérieure 75 centimètres. Dans mes expériences, on mit à ma disposition du charbon maigre d'Ostricourt, à 86 de matières volatiles et 10 de cendres. J'ai obtenu 4.914 litres de gaz à 1.223 calories par kilogramme de charbon, d'un pouvoir de 7.861 calories, d'où est ressorti un rendement de 76,5 %, en marche industrielle, ce qui constitue un excellent résultat.

### 13. Gazogène Boutillier.

MM. Boutillier et C<sup>ie</sup>, constructeurs à Orléans, ont abordé avec succès, vers l'année 1900, la construction des gazogènes, et, dès 1904, ces habiles ingénieurs annonçaient qu'ils avaient plus de 2.500 chevaux en fonctionnement, par des appareils d'une puissance de 10 à 150 chevaux; les Expositions de Liège et d'Orléans consacrèrent leur réputation par l'octroi des plus hautes récompenses.

Leur gazogène de Liège était à combustion directe, le charbon étant chargé par le bas et le gaz soutiré par la partie supérieure.

Le chargeur automatique amène le charbon au centre de la cuve par une vis d'Archimède; la dernière spire de cette vis est en sens inverse des autres, dans le but de refouler le combustible vers la partie supérieure de la trémie et



de repousser les mâchefers, les scories et les cendres vers la périphérie du producteur, d'où on les extrait par des portes latérales. Cette trémie est un tronc de cône renversé : le charbon monte progressivement dans la zone de combustion qui entoure la trémie; il distille et les carbures engendrés traversent les fragments incandescents et y subissent la décomposition pyrogénée. L'air est pris dans une gaine, qui entoure annulairement le haut de la cuve, et il se sature de vapeur d'eau avant d'être admis dans le cendrier; la vapeur est fournie par une chaudière *c*, placée au bas de la garniture réfractaire. Les gaz, sortant par le haut de la cuve, sont aspirés par un ventilateur, à injection d'eau, où ils subissent un nettoyage, qu'il suffit de compléter par un passage au scrubber.

Ce gazogène utilisait à l'Exposition de Liège des fines de charbon demi-gras, renfermant de 18 à 20 % de matières volatiles; MM. Boutillier faisaient remarquer que les eaux de lavage étaient claires et inodores, ce qui témoignait d'une bonne réduction des produits goudronneux; ils insistaient sur les avantages du chargement automatique, qui dispensait entièrement d'ouvrir toute trémie supérieure et évitait les rentrées d'air; ils revendiquaient les avantages d'un chargement proportionnel à la demande du moteur, attendu que la vis sans fin était actionnée par un harnais d'engrenages hélicoïdaux, commandés par une poulie à jante conique faisant varier la vitesse du chargeur suivant le besoin, et permettant de maintenir dans la cuve un niveau du combustible absolument constant.

Cet appareil avait permis d'utiliser du charbon Saint-Éloi à 33 % de matières volatiles, du lignite d'Algérie à 46 et des houilles de la Société nouvelle des mines des Bouches-du-Rhône, à 49 %. Ces résultats étaient très intéressants.

Néanmoins, MM. Boutillier semblent accorder la préférence aujourd'hui à un appareil dépourvu de chargeur automatique, dont nous croyons utile de donner une description détaillée, car ce modèle est très répandu.

La trémie 5 de chargement (fig. 136) est placée sur le couvercle de la cuve; des trous de piquage 4 y sont pratiqués pour permettre de ringarder de haut en bas, et de briser les voûtes qui pourraient se former dans le feu. Le charbon tombe dans un cône 6, qui le retient latéralement. La chemise réfractaire repose par le bas sur un disque de fonte, formant la partie supérieure d'une bouillotte 14 dans laquelle l'eau est admise par le siphon 16; la bouillotte voit le feu, qui brûle sur la grille 9; le cendrier en fonte 18 est en forme de cuve, dont la concavité porte les pieds de l'appareil.

Une enveloppe annulaire en tôle entoure le haut du producteur; l'air y pénètre en *a*, et s'y réchauffe déjà, avant d'entrer dans le serpentin 7, qui utilise les chaleurs perdues; puis il descend par le tuyau vertical *aa* et débouche dans le cendrier, sous la grille.

La vapeur produite dans la bouillotte pénètre dans la cuve par un canal



annulaire, pratiqué au pied de la garniture réfractaire, et suit le chemin indiqué par la lettre *v*, en longeant les parois : MM. Boutillier escomptent le refroidis-

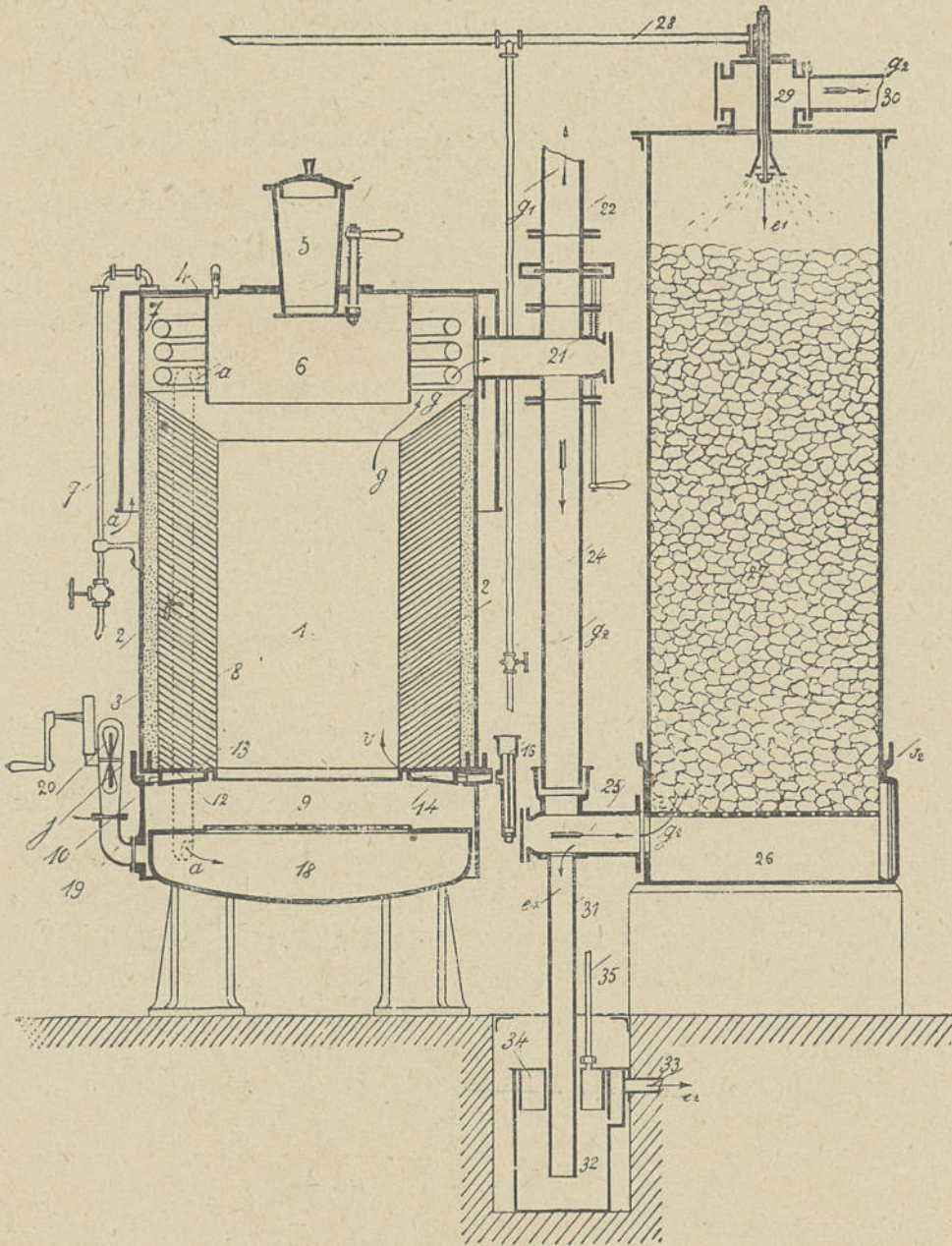


Fig. 136. — Gazogène Boutillier.

sement relatif produit sur les briques de revêtement intérieur par ce courant de vapeur, qui doit ainsi empêcher l'adhérence du mâchefer, faciliter le décrassage et prolonger la durée de la garniture. Ne peut-on pas craindre, par contre,



que la vapeur ne se répartisse pas assez uniformément dans la masse des gaz qui traversent les couches incandescentes?

Les dispositions adoptées permettent de croire que la production de vapeur est, dans une certaine mesure, proportionnelle à la quantité des gaz engendrés; en effet, lorsque le volume de gaz aspiré augmente, le feu devient plus actif, d'abord parce que la bouillotte chauffe davantage, et ensuite par le fait que l'air aspiré prend lui-même une température plus élevée; on peut donc augmenter l'introduction d'eau par le siphon.

La bouillotte n'est pas exposée à se rompre, puisqu'elle n'est pas placée en plein feu; de plus, l'ouverture des portes du cendrier ne peut pas diminuer sa production de vapeur, attendu qu'elle est hors de l'atteinte des courants d'air froid; il en résulte que le nettoyage des feux en pleine marche ne modifie en rien la qualité du gaz.

La partie supérieure livre issue aux gaz par la tubulure 21; lors de la mise en marche, on ouvre la cheminée 22; le fonctionnement du moteur ayant commencé, le gaz prend le chemin  $g_2$ , par 24, pour se rendre dans la partie inférieure 26 du scrubber à coke 27. Ce dernier est arrosé d'eau par le tuyau 28 et conduit le gaz à la soupape 29; les produits lavés s'échappent enfin par 30. La tubulure 25 aboutit par 31 à un pot de vidange d'eau 32, dont le trop-plein se déverse par 33; le liquide forme garde hydraulique, mais, pour plus de sûreté, une cloche renversée 34 empêche toute fuite de gaz dans le local du gazogène; le tube 35 conduirait au besoin le gaz au dehors.

MM. Boutillier ont établi plusieurs modèles d'un type A développant de 2 à 250 chevaux, débitant de 12 à 620 mètres cubes à l'heure, consommant de 2.500 à 125 kilogrammes à l'heure; un type B a été étudié plus spécialement pour les charbons gras, et un type C pour le bois, la tourbe, le lignite, etc.

Pour traiter les combustibles qui ont une tendance à produire des goudrons, on opère un lavage spécial par un appareil centrifuge à injection d'eau; dans le cas des lavages plus difficiles, les scrubbers sont construits à plateaux et compartiments étagés, avec grilles spéciales, sur lesquelles on étend des copeaux; des portes permettent de vidanger chaque compartiment. On a aussi employé des scrubbers superposés avec laveur centrifuge interposé.

#### 14. Gazogène Catteau.

M. Catteau, dont le moteur a conquis une légitime réputation, a aussi créé un gazogène, qui mérite encore d'être signalé.



Les revendications de l'inventeur sont résumées dans les termes qui suivent.

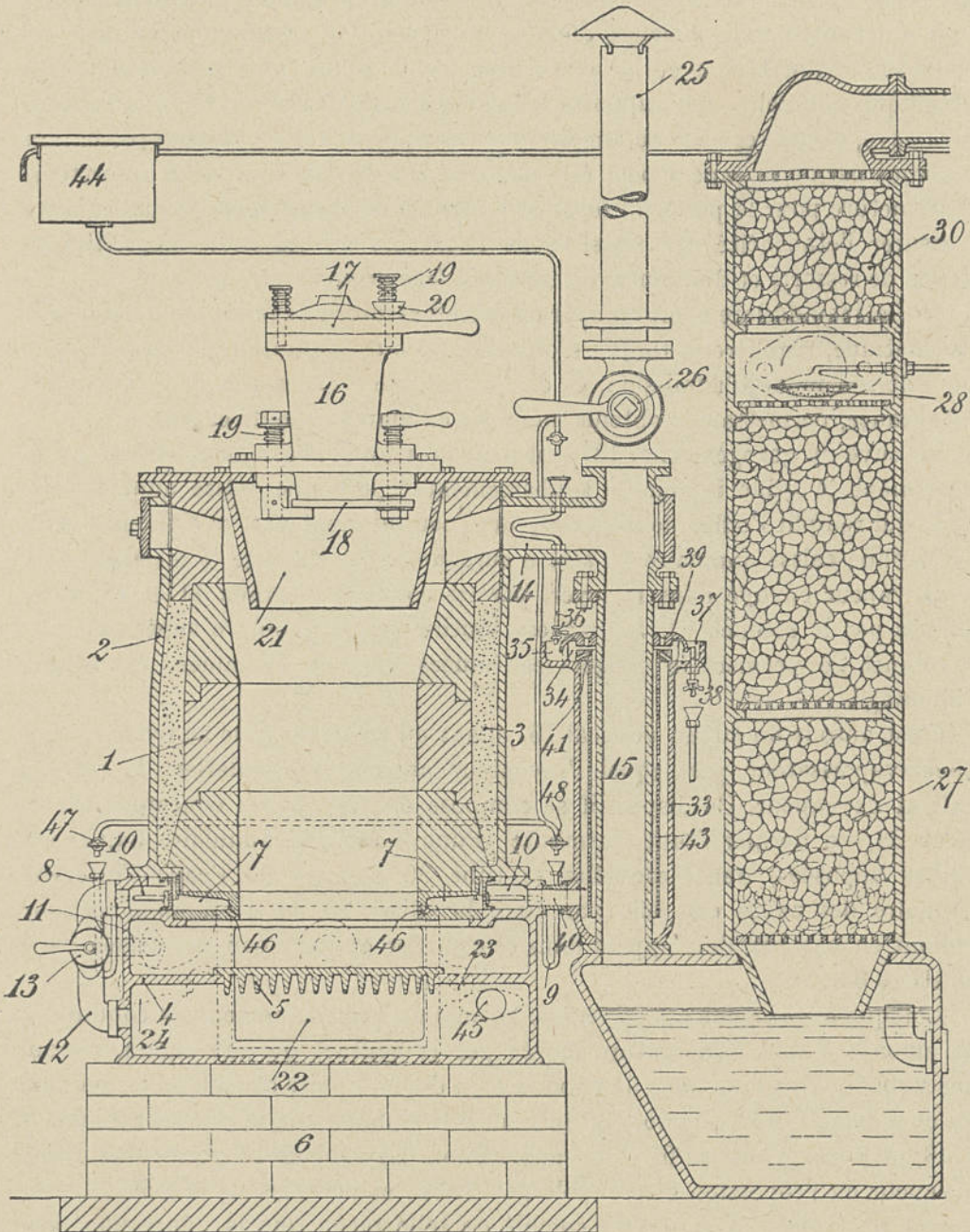


Fig. 137. — Gazogène Catteau.

« L'invention comporte essentiellement : un éparpilleur-vaporisateur, disposé autour du conduit de sortie du gaz, et constitué par un tube surmonté



d'une gouttière d'eau, à niveau constant, présentant une bague percée de trous obliques, prolongée par un intervalle annulaire inférieur, dans laquelle se fait sentir la dépression du gazogène; une chambre métallique annulaire servant à surchauffer le mélange d'air et de vapeur, et communiquant par des conduits convenables avec les deux faces de la grille; une seconde chambre métallique annulaire, qui supporte le revêtement intérieur en terre réfractaire de la cuve, et qui reçoit l'eau amenée par des siphons, cette chambre présentant des trous par où la vapeur peut être envoyée dans le foyer; et enfin un système de fermeture pour la porte du foyer et la trémie de chargement, lequel consiste à assurer l'étanchéité des registres de fermeture de ces deux dispositifs au moyen de ressorts et d'organes coulissants à face arrondie. »

M. Catteau déclare avoir eu pour objectif d'assurer une production de vapeur automatique, régulière et toujours proportionnée à l'aspiration du moteur, quel que soit son mode d'admission, et de fournir une vaporisation pour ainsi dire instantanée, permettant d'obtenir une mise en marche rapide et sûre.

La cuve du gazogène (fig. 137) est assise sur un soubassement métallique 4, renfermant la grille 5; sur ce soubassement repose une caisse annulaire en fer 7, qui remplit l'office de vaporisateur; l'eau lui vient par les siphons 8 et 9. La seconde caisse annulaire 10 sert à surchauffer au passage le mélange d'air et de vapeur envoyé dans le foyer, par les conduits latéraux 11 et 12, commandés par le robinet 13. Le gaz est soutiré par la tubulure supérieure 14 : le robinet 26 permet de diriger les fumées vers la cheminée, en période d'allumage.

C'est autour du tuyau vertical 15, allant au scrubber, que se trouve l'éparpilleur-vaporisateur par lequel l'inventeur cherche à régulariser le mélange d'air et de vapeur. Ce dispositif se compose de trois tubes concentriques 15, 43 et 33, ce dernier étant surmonté d'une gouttière annulaire 34, à deux oreilles opposées, dans lesquelles le tube 36 déverse de l'eau; l'intervalle annulaire des tubes est relié par 40 à la caisse 10, et il est donc parcouru de haut en bas par l'air appelé dans le cendrier et par l'eau pulvérisée par la gouttière 34.

Lorsque le gazogène est en régime normal de fonctionnement, la conduite 15 est amenée à une température élevée par le contact du gaz chaud, conduit au scrubber, et sa puissance de vaporisation devient alors considérable; on peut, dès ce moment, cesser de donner de l'eau aux siphons 8 et 9, par les robinets 47 et 48, et l'éparpilleur suffit à la vaporisation. Le robinet 13 permet de diriger la vapeur en proportion convenable par-dessus et par-dessous la grille. L'écartement des tubes 15 et 43 est calculé de telle façon que la dépression créée par l'aspiration soit suffisante pour entraîner l'eau nécessaire à la bonne marche en charge, mais s'accroisse en surcharge, et augmente ainsi la proportion d'eau; l'appareil constitue donc un doseur de vapeur.

La porte 22 de déchargement du foyer peut être ouverte en marche sans apporter



aucun trouble à la production du gaz, pourvu qu'à ce moment on serve de nouveau de l'eau au vaporisateur 7.

### 15. Gazogène Tangye.

Les constructeurs anglais revendiquent pour leur appareil la simplicité de ses dispositions et les dimensions rationnelles de ses divers organes : il est représenté sur la figure 138, et n'a pas besoin d'un long commentaire.

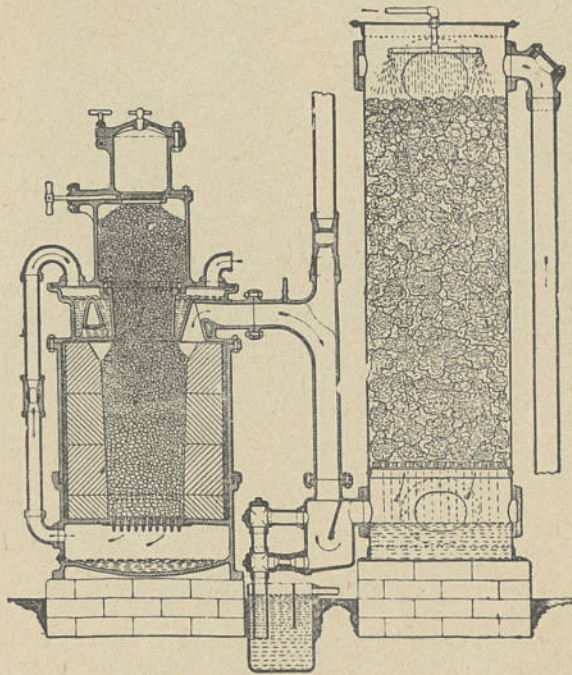


Fig. 138. — Gazogène Tangye.

L'ensemble, au lieu d'être d'un bloc, est formé de plusieurs parties facilement démontables. La garniture réfractaire est constituée par des couronnes, composées de plusieurs briques de forme. Le combustible est soutenu par une grille à barreaux indépendants, d'un remplacement aisé : une couche d'eau est entretenue au fond du cendrier. Le vaporisateur est chauffé par les gaz.

Des modèles spéciaux ont été établis pour l'emploi du bois, des combustibles végétaux, du charbon de bois, des lignites, etc. (fig. 139) : ils marchent dans d'excellentes conditions en donnant des rendements très satisfaisants.



La maison Tangye est représentée en France par MM. Paul Roux & C<sup>ie</sup>, à Paris.

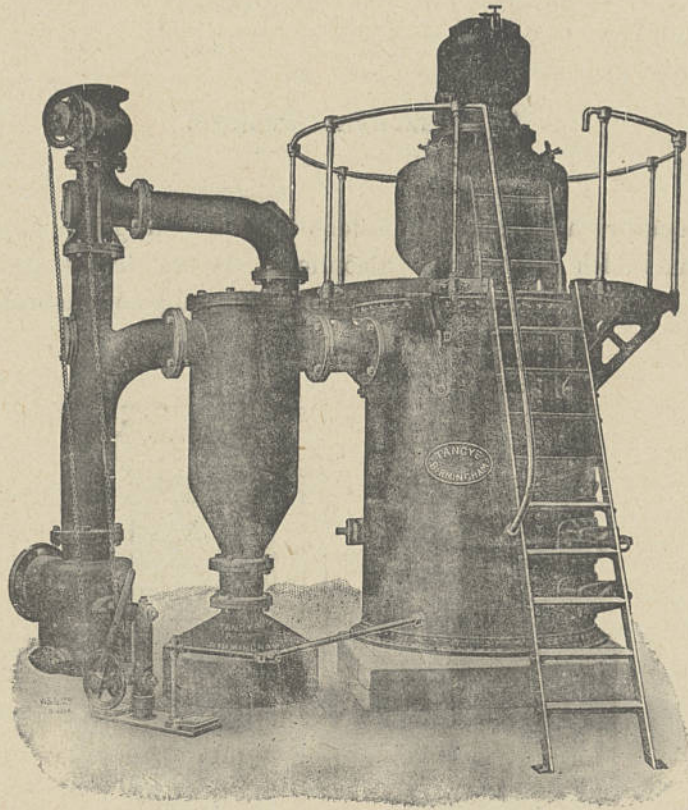


Fig. 139. — Gazogène Tangye au bois.

### 16. Gazogène Hanappe.

Ce gazogène, qui est construit à Bruxelles, présente la particularité que le vaporisateur 4 (fig. 140) entoure le foyer; un trop-plein réglable à volonté limite la quantité d'eau qu'il contient et par suite le volume de vapeur engendré; il est du reste en communication directe avec l'atmosphère par le conduit 12 et avec le cendrier, par des ouvertures que le dessin ne fait pas voir. La prise de gaz est centrale et multiple, et elle pénètre assez profondément dans la colonne de combustible.

Lorsque le gazogène fonctionne en pleine charge, il se fait un énergique appel d'air par l'orifice 13 et par le tuyau 12, celui-ci provoquant un grand afflux de vapeur; à faible charge, le gazogène reçoit moins de vapeur; à l'arrêt, et dans les intervalles d'aspiration provoqués par les passages à vide des moteurs à quatre temps, la vapeur se dégage au contraire au dehors par 12.



La production de vapeur par la bouillotte commence aussitôt que le feu est allumé, ce qui est un avantage; par contre, au moment des dégrasages, l'ouver-

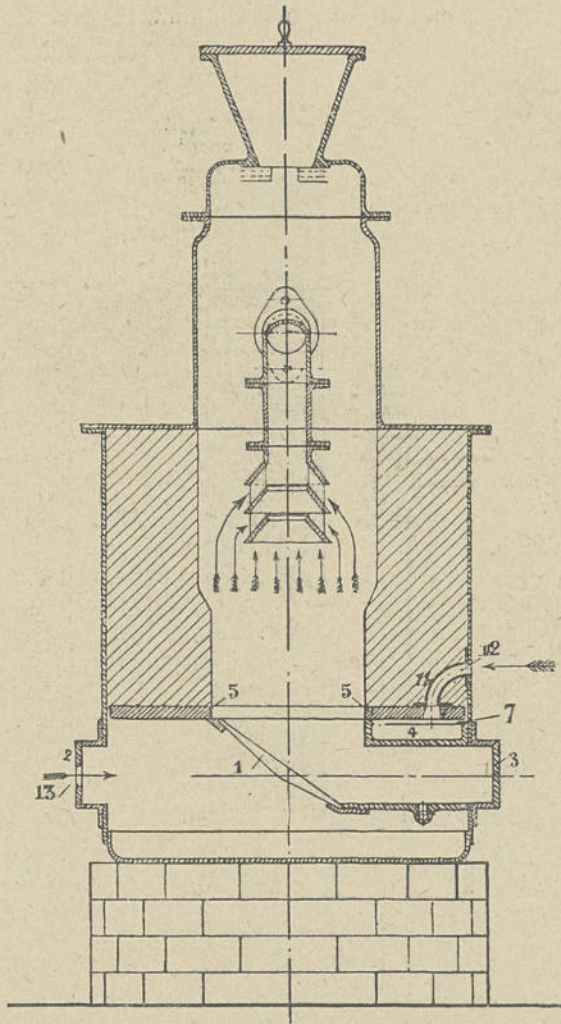


Fig. 140. — Gazogène Hanappe.

ture de la porte diminue l'appel de vapeur, et le gaz formé peut changer de composition.

### 17. Gazogène Béchevot (Ignis).

M. Béchevot est l'inventeur d'un nouveau type de gazogène qui présente d'intéressantes particularités (fig. 141).

La cuve se prolonge à sa base par un tube d'acier B, pourvu extérieure-



ment de saillies rentrantes, formant une superposition d'augets circulaires, à déversement d'eau; c'est une chaudière à grande surface de chauffe; l'eau en excès déborde dans une cuvette inférieure, qui l'évacue par un trop-plein. Ce vaporisateur à ruissellement est soécialement revendiqué par l'inventeur :

il est extrêmement actif, dit-on, et ne s'use pas rapidement; il possède d'autre part une souplesse de fonctionnement très appréciée, car la quantité d'eau vaporisée varie automatiquement avec la température du foyer.

Ce vaporiseur a l'avantage d'empêcher le collage des mâchefers et des terres réfractaires qui, ainsi protégées, peuvent servir trois ans sans remplacement, au dire du constructeur.

Ce gazogène n'a pas de grille à vrai dire; l'amoncellement des scories sert de soutien au combustible sur la sole annulaire S.

La prise de gaz est centrale, avec trémie rejetée sur le côté. La cheminée axiale est

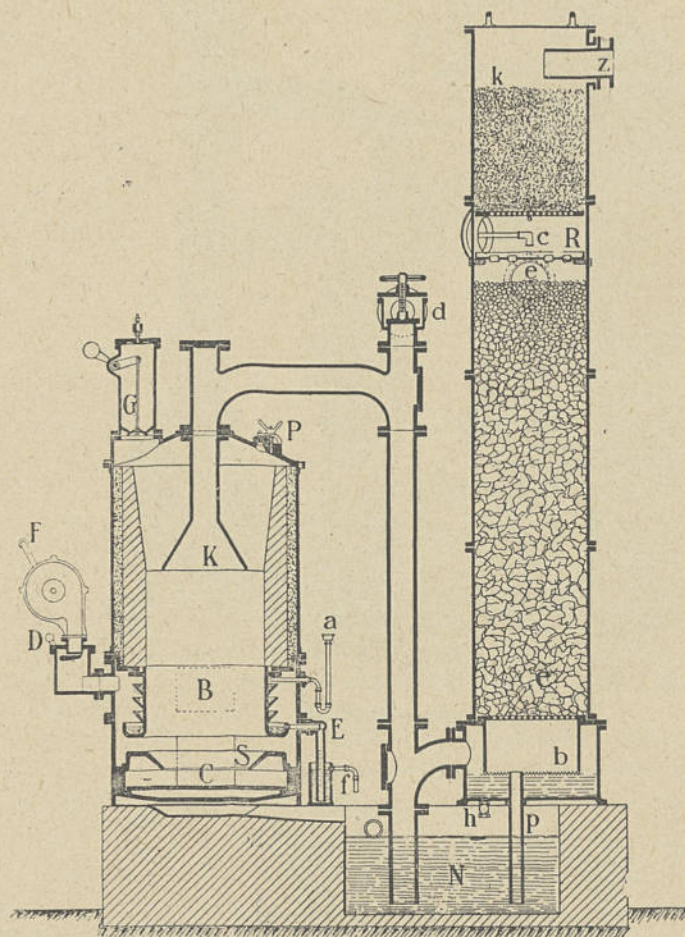


Fig. 141. — Gazogène Ignis.

fermée en haut par une soupape étanche dont la figure ne donne pas le détail; elle assure une fermeture hermétique d'une utilité incontestable, car toute rentrée d'air dans le tuyau de départ des gaz produit une combustion prématurée de ceux-ci et expose à des explosions.

La trémie excentrée G ne présente pas les inconvénients que l'on pourrait craindre, car le charbon tombe sur un cône qui en éparpille les morceaux.

Le barillet b est muni de tampons de visite I.

On emploie dans ce gazogène non seulement de l'anthracite criblé  $\frac{5}{10}$



ou des charbons maigres  $\frac{7}{13}$ , mais encore des grésillons de coke, voire même des déchets de charbon de bois.

Pour les copeaux et les déchets de bois, M. Béchevot a créé un modèle, à tirage renversé à foyers superposés : le foyer inférieur seul est en réfractaire, les cuves supérieures sont métalliques. La possibilité de décrasser en marche permet un fonctionnement continu de jour et de nuit, sans arrêt (fig. 142).

Le principe de cet appareil est rationnel et ingénieux : il consiste à réaliser d'abord une carbonisation du ligneux, avant de lui faire subir la combustion. A cet effet, les charges fraîches traversent d'abord les cornues en fonte CLM, et il n'arrive que du charbon de bois dans la cuve O formée d'éléments réfractaires. L'air appelé par le moteur entre par F dans la chambre D et il arrive chaud au foyer inférieur. Les trompes courbes R et S équilibrent, par une colonne d'air froid, la pression qui se produit entre deux aspirations.

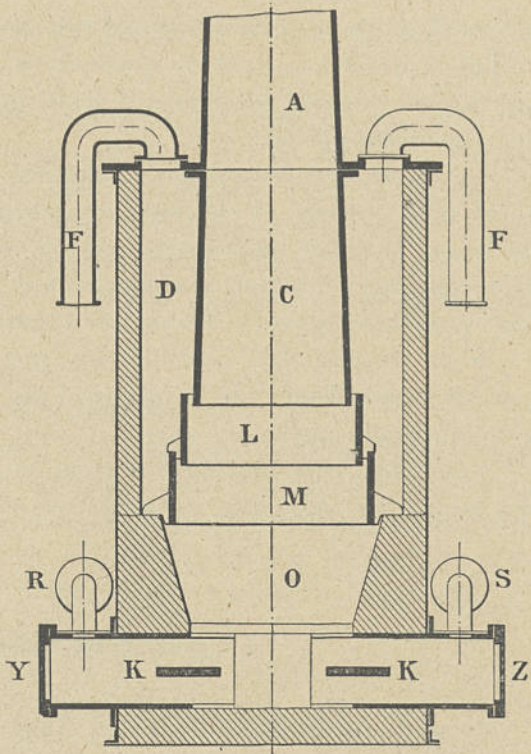


Fig. 142. — Gazogène Ignis au bois.

M. Béchevot a développé le cheval-heure effectif par 1.200 grammes de bois sec, à 20 % d'humidité.

Nous arrêtons ici cette énumération des gazogènes, en nous excusant, auprès de ceux que nous ne citons pas, d'une omission que nous imposent les dimensions de cet ouvrage.

## II

### GAZOGÈNES A MÉCANISMES

Quand on fait usage, dans les gazogènes, de charbons anthraciteux, ne collant pas au feu, ne formant par conséquent point de voûtes, et descendant régulièrement d'eux-mêmes vers la grille, où ils achèvent de se consumer et de se réduire en cendres, pas n'est besoin de recourir à des dispositifs particuliers



pour assurer cette descente automatique; il suffit généralement de donner à la cuve une forme évasée vers le bas, pour opérer le décollement des scories des parois réfractaires, et le jeu du ringard introduit par les trous pratiqués dans le couvercle fait le reste. On décrasse la grille au crochet.

Il n'en va plus de même avec les charbons plus ou moins gras, qu'on a aujourd'hui la prétention d'employer pour la gazéification : on éprouve alors le besoin d'aider l'action du conducteur, sinon d'y suppléer; cela permet l'utilisation de combustibles, dont il serait difficile de faire couramment usage avec les appareils ordinaires.

La forme des mécanismes, auxquels on a eu recours pour remplir l'office dont nous venons de décrire l'opportunité, a varié considérablement. Je ne ferai que rappeler les distributeurs de charbon : ils ont pour objet l'alimentation continue de la cuve, le concassage et l'éparpillement du charbon et sa distribution systématique. Tels sont les appareils Greffin, Morgan et autres.

Nous devons une mention plus spéciale aux mécanismes qui décrassent (quelques-uns disent décrayonnent) les cuves et les grilles, et rompent les adhérences des mâchefers avec les terres réfractaires et les fontes du foyer.

Nous nous efforcerons d'être complet, sans abuser de l'attention du lecteur, qui se fatigue rapidement à la lecture de descriptions peu variées.

### 1. Gazogène Kitson et Walker.

Parmi les mécanismes brevetés, il me semble que celui de Kitson et Walker est un des plus anciens, car j'en trouve déjà la mention dans le premier *supplément* de G. Richard à son *Traité des moteurs*, en 1892.

Le gazogène est à sole inclinée et tournante; son axe G est fileté; un pignon reçoit d'un jeu de trois poulies un mouvement alternatif tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, et il lui imprime un mouvement hélicoïdal alternativement ascendant et descendant. En descendant, la grille tournante démasque plus ou moins une autre grille circulaire, à barreaux oscillants, qui peut s'ouvrir pour livrer passage aux cendres. L'axe G est creux et se trouve traversé par le vent, qui afflue ainsi au centre même du foyer.

Ces dispositifs ont varié avec le temps : on a surtout cherché à abriter les mécanismes et la vis contre les cendres.

Un auteur que j'ai sous les yeux affirme que l'appareil Kitson a obtenu des résultats « *excessivement* bons »; en bon français, cela veut dire trop bons. Admettons-le, mais ajoutons que les dispositions adoptées sont « *excessivement* » compliquées. De fait, ma description omet maints détails que je trouve superflus de noter.

Pour mémoire, mentionnons le gazogène Kerpely, très ancien aussi, peut-être



plus simple que le précédent : il est pourvu d'une grille conique, formée par une superposition de plateaux, livrant passage entre eux à l'air saturé de vapeur d'eau.

## 2. Gazogène Fichet et Heurtey (Heurtey et Sauvageon).

MM. Fichet et Heurtey ont importé en France un gazogène qui avait fait depuis longtemps ses preuves en Amérique, sous le nom de M. W.-J. Taylor; mais l'œuvre de l'ingénieur américain s'est grandement perfectionnée entre leurs mains et l'appareil que nous allons décrire doit porter leur nom.

Le gazogène Fichet et Heurtey répond à un double objectif, qui est :

1° D'utiliser la chaleur des gaz produits par le gazogène au réchauffement de l'air qui y est introduit;

2° De faciliter le décrassage de l'appareil.

L'importance de ces deux points est indéniable.

Et d'abord, constatons que, dans les gazogènes de moteurs, la haute température des gaz à leur sortie du foyer est généralement perdue, puisqu'on les refroidit dans les scrubbers avant de les admettre au gazomètre et au moteur : on réalise un bénéfice immédiat en restituant ce calorique au gazogène, qui en a grand besoin pour les réactions qui s'y produisent. Élever la température du foyer, c'est faciliter ces réactions; enfin, plus cette température est maintenue haute, plus on peut injecter d'eau dans le feu, plus on produit par suite de gaz à l'eau, et mieux on enrichit le gaz. Nous avons développé précédemment toutes ces considérations et nous jugeons inutile d'y revenir : MM. Fichet et Heurtey, qui avaient une sérieuse et ancienne pratique des gazogènes, attachaient le plus grand prix à cette récupération du calorique, et ils ont fait une étude approfondie de la question avant d'arrêter définitivement les dispositifs capables d'assurer le résultat cherché.

Le nettoyage des feux est une sujétion du service des gazogènes qu'il importe de faciliter le plus possible; à cet effet, Taylor avait inventé une sole tournante; c'est un plateau horizontal en fonte, mobile autour d'un axe vertical et muni en dessous d'une couronne dentée, qui engrène avec un pignon fixé à un arbre horizontal traversant l'enveloppe, et actionné de l'extérieur au moyen d'une paire d'engrenages et d'une manivelle. Au-dessous du plateau mobile est placé un plateau fixe, sur lequel le premier repose par l'intermédiaire d'une couronne de boulets sphériques logés dans une rainure. Cette disposition évite tout ajustage précis, les dilatations sont libres et la rotation du disque supérieur s'effectue à la main sans grand effort.

Le charbon du gazogène, réduit à l'état de cendres et de mâchefer, s'écroule par l'ouverture d'une trémie tronconique et se déverse sur le plateau mobile, en formant un cône d'éboulement dont la grande base est égale au diamètre de



ce plateau; il n'y a donc pas de grille, ce qui est un avantage sérieux de ce dispositif. A l'état de repos du plateau, le cône des mâchefers s'étale jusqu'aux bords; dès que l'on fait tourner ce plateau, les mâchefers s'éboulent sur le pourtour et tombent dans le cendrier. En introduisant des ringards par des trous ménagés dans l'enveloppe, on active cette chute, s'il est nécessaire de le

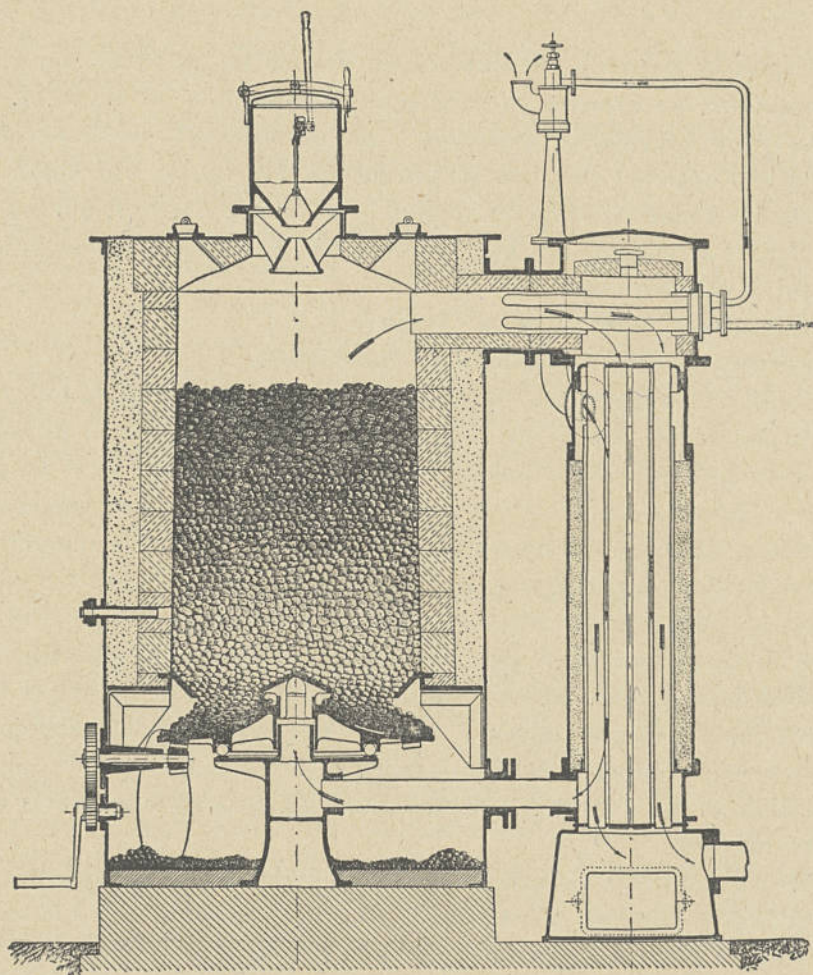


Fig. 143. — Gazogène Fichet et Heurtey.

faire, et l'on assure la descente régulière des scories. Des regards pratiqués dans l'enveloppe permettent de surveiller la descente et de maintenir la zone de combustion au niveau convenable, de manière à ce que jamais le feu ne descende plus bas que le second rang des regards et n'atteigne les parties métalliques; on est donc certain qu'elles resteront toujours froides et qu'elles ne se détérioreront pas.

Après avoir fait ressortir les caractères spéciaux de ce gazogène de MM. Fichet et Heurtey, nous pouvons aborder sa description.



Le gazogène proprement dit est formé d'un cylindre vertical en tôle (fig. 143); sa paroi intérieure présente une légère conicité, en vue de faciliter la descente du charbon; elle est revêtue de briques réfractaires. La cuve est entourée d'une enveloppe de sable destinée à diminuer les déperditions de calorique. La trémie de chargement est munie d'un obturateur conique, comme cela se fait toujours, et d'un couvercle à loquet réalisant une fermeture double pour éviter la libre communication de la cuve avec l'atmosphère. Le charbon remplit l'appareil jusqu'à sa partie supérieure; un regard limite la zone d'incandescence, de sorte que la partie inférieure ne renferme que des scories et des cendres. Notre dessin fait voir le détail de la sole tournante, commandée par une manivelle.

A la partie supérieure du gazogène, au-dessus de la voûte, est un plateau de fonte boulonné sur l'enveloppe, qui forme un joint et une fermeture parfaitement étanches conjurant toute déperdition de gaz; pour mieux assurer ce résultat, le plateau porte souvent une nervure circulaire remplie d'eau, qui empêche le métal de trop s'échauffer et qui maintient par suite les joints en bon état. On remarque, d'autre part, sur la figure 143, que le garnissage réfractaire de la cuve repose sur des consoles rivées sur l'enveloppe extérieure; c'est cette couronne qui supporte la trémie inférieure.

Ces gazogènes se construisent à insufflation d'air ou bien à aspiration. Autrefois, l'air était soufflé par un injecteur à vapeur, à la mode Dowson, la vapeur étant engendrée par une petite chaudière tubulaire, traversée par les gaz sortant de l'appareil : la récupération de chaleur ainsi obtenue était importante.

Dans quelques installations, le générateur de vapeur était séparé du gazogène et on le chauffait alors directement par une rampe à gaz alimentée par le gazogène lui-même : on estimait la dépense aux  $\frac{5}{100}$  de la production de l'appareil.

Le plus souvent, on procède par aspiration; l'appareil est encore auto-producteur de vapeur. Il est représenté par la figure 144. La chaudière, à laquelle on donne le nom de saturateur, est remplie d'eau à niveau constant; elle présente une large surface de chauffe; la trémie de chargement occupe son centre. Le générateur est en fonte, en acier coulé ou en tôle d'acier, suivant ses dimensions. On conseille de l'alimenter d'eau prise à un réchauffeur, disposé à la suite du gazogène; l'eau y dépose une partie de ses matières solides. Le saturateur peut être muni de papillons de réglage, qui permettent de doser la proportion de vapeur à livrer à l'air, suivant les indications d'un thermomètre à cadran. L'air humide peut être surchauffé par son passage dans des tuyaux disposés contre la cuve du gazogène.

La forme des gazogènes Fichet et Heurtey (aujourd'hui Heurtey et Sauvageon) varie notablement suivant la nature et l'objet des installations. Mais voici quelques détails de construction que l'on rencontre communément.



Des regards, ménagés à travers la paroi, permettent de surveiller le feu, d'effectuer le décrassage au moment opportun et de l'arrêter dès que le feu a repris son état normal. De larges portes de visite servent à l'enlèvement des scories. Quelquefois la sole est grillée, pour faciliter la chute des cendres au fur et à mesure de leur production; le tuyau central peut alors être supprimé, et

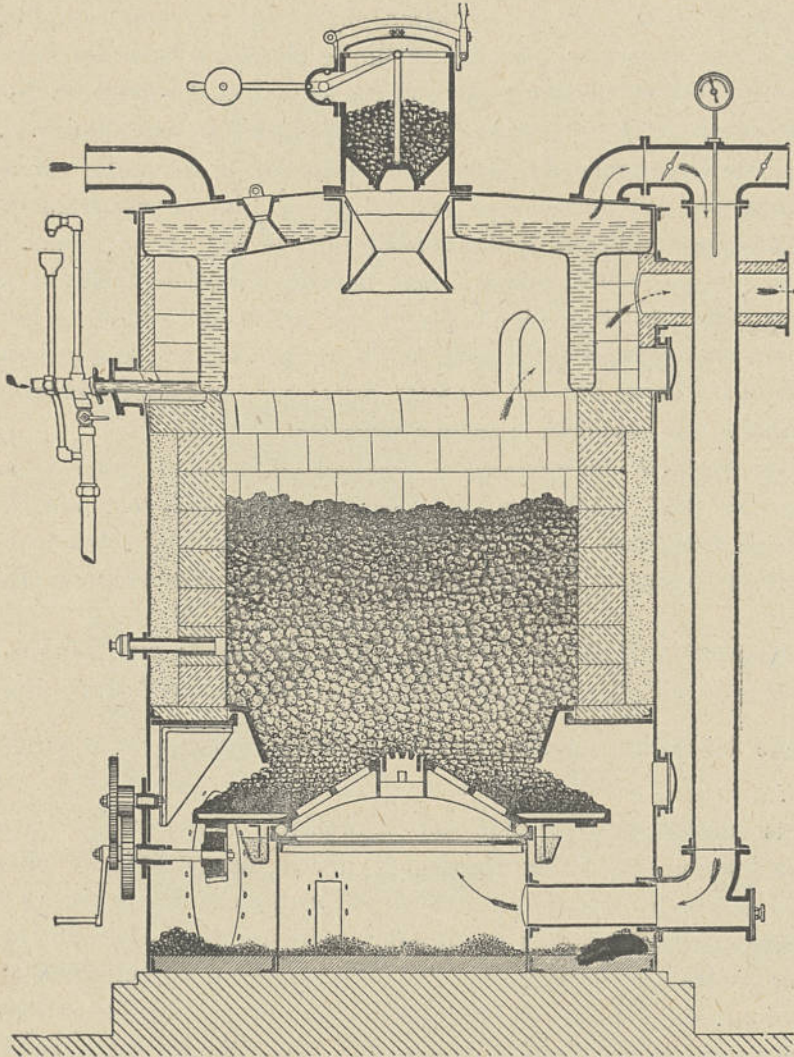


Fig. 144. — Gazogène Fichet et Heurtey à aspiration.

l'air admis au cendrier est dirigé soit sur toute la surface du foyer, soit seulement sur la partie centrale de la sole grillée.

Une autre modification est adoptée pour le traitement de charbons très cendreaux et pierreux. Le plateau circulaire qui porte la cuve réfractaire est alors soutenu par des colonnes et la virole inférieure, suspendue par des chaînes à des poulies supérieures, peut être levée, ce qui découvre la sole et le cendrier.



L'étanchéité est assurée par deux joints hydrauliques, l'un dans le cendrier, l'autre au niveau du plateau circulaire; cette virole est équilibrée par des contrepoids, et il suffit d'un faible effort pour la faire monter ou descendre. On procède ainsi avec plus de commodité au décrassage du feu.

Dans quelques installations, on prescrit de marcher continûment et sans aucun arrêt, pendant des mois, sans cesser de produire du gaz. Dans ce cas, dont je n'ai pas à souligner les difficultés pratiques, on anime par une transmission la sole d'un mouvement continu de rotation : le cendrier est alors disposé différemment. Le gazogène est monté sur colonnes ou murettes; il est fermé au fond par un cône, plongeant par la partie inférieure dans un bassin plein d'eau. Les déchets de la combustion y tombent d'eux-mêmes; ils en sont retirés par une vis sans fin qui ne nécessite l'ouverture d'aucune porte et n'interrompt aucunement la production du gaz.

Ces dispositions sont efficaces et conduisent aux meilleurs résultats. Richard constatait déjà, en 1895, que la consommation peut être portée de 35 à 80 kilogrammes par mètre carré de section horizontale de la cuve et par heure, ce qui témoigne d'une rare élasticité de fonctionnement. D'autre part, il ajoutait que ce générateur permet l'emploi de toutes sortes de charbons, depuis les anthracites anglais jusqu'aux houilles à 31 % de matières volatiles. Ces résultats peuvent être garantis aujourd'hui avec une absolue sécurité.

Les constructeurs de ces appareils se sont toujours imposé de donner une forte section à la cuve de leurs appareils, et l'on peut dire que c'est resté la tradition constante de cette maison et une de celles qui a le plus contribué à ses remarquables succès. On peut en juger par les chiffres ci-dessous, qui s'appliquent à d'anciennes installations, ayant fait leurs preuves. Voici de quelle manière les diamètres de la cuve croissent avec la consommation :

| Diamètres.   | Consommation de charbon<br>par 24 heures. |
|--------------|---|
| 1 m. 75..... | 1 à 2 tonnes.                             |
| 2 m. 10..... | 1,5 à 3 —                                 |
| 2 m. 50..... | 2,5 à 3 —                                 |
| 2 m. 78..... | 3 à 6 —                                   |

La hauteur dépend de la nature du combustible; elle est de 4 mètres pour les charbons maigres, créant peu de résistance au passage des gaz.

MM. Heurtey et Sauvageon continuent d'accorder la plus grande attention au service d'épuration des gaz destinés aux moteurs : la figure 145 fait voir l'ensemble d'une installation complète, composée d'un réchauffeur d'air, d'un refroidisseur à plateaux, d'un laveur à garde d'eau, d'un ventilateur épurateur, d'un épurateur à sciure et finalement d'une cloche de gazomètre.

Les résultats obtenus ont toujours répondu aux promesses des constructeurs.



Il m'a été donné d'effectuer des essais sur deux belles installations, l'une

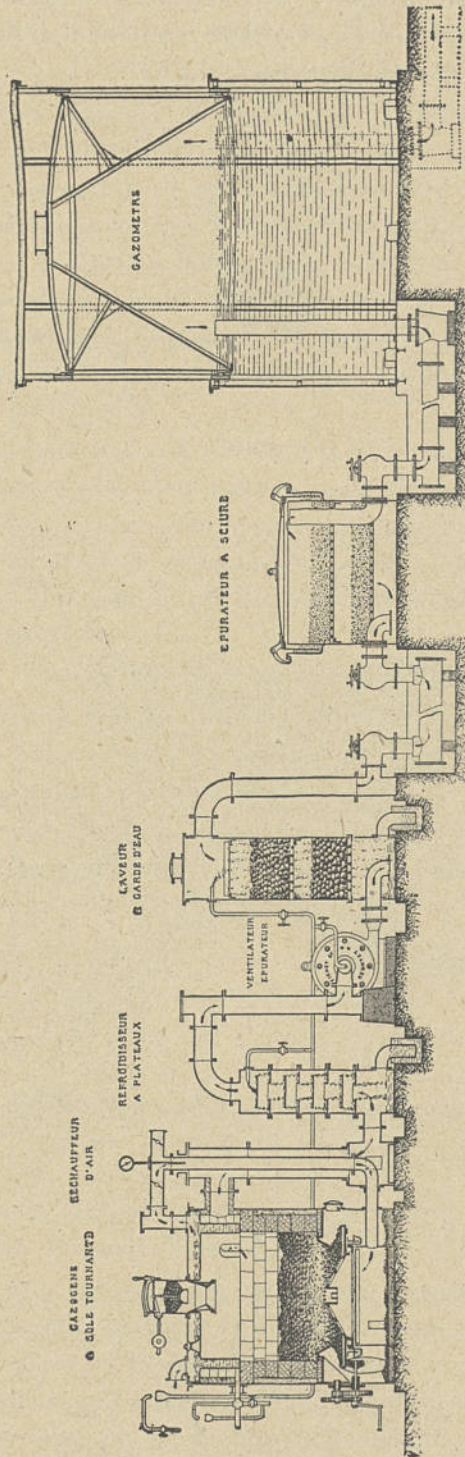


Fig. 145. — Épuration Heurtey et Sauvageon.

de 2.100 chevaux, à la papeterie de la Seine, à Nanterre; l'autre aux ateliers



de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans, à Tours, et j'ai été à même d'apprécier les rares qualités de ces appareils.

Les constructeurs garantissent habituellement une production de 4.500 litres de gaz par kilogramme de houille maigre à 7.500 calories; le gaz ayant un pouvoir de 1.300 calories, le rendement atteindrait 78 %. Ce pouvoir, correspondant à une allure à forte injection de vapeur surchauffée, n'est pas exceptionnel. La moyenne des pouvoirs de huit prises de gaz, effectuées à intervalles réguliers durant une période de travail de dix heures, à la verrerie du Val Saint-Lambert, avec du charbon maigre en petits grains de Masses-Darbois, a été de 1.345 calories, avec un écart d'au plus 1,5 % entre les chiffres extrêmes de 1.325 et de 1.358 calories.

### 3. Gazogène Winterthur.

La Société suisse pour la construction de locomotives et de machines, de

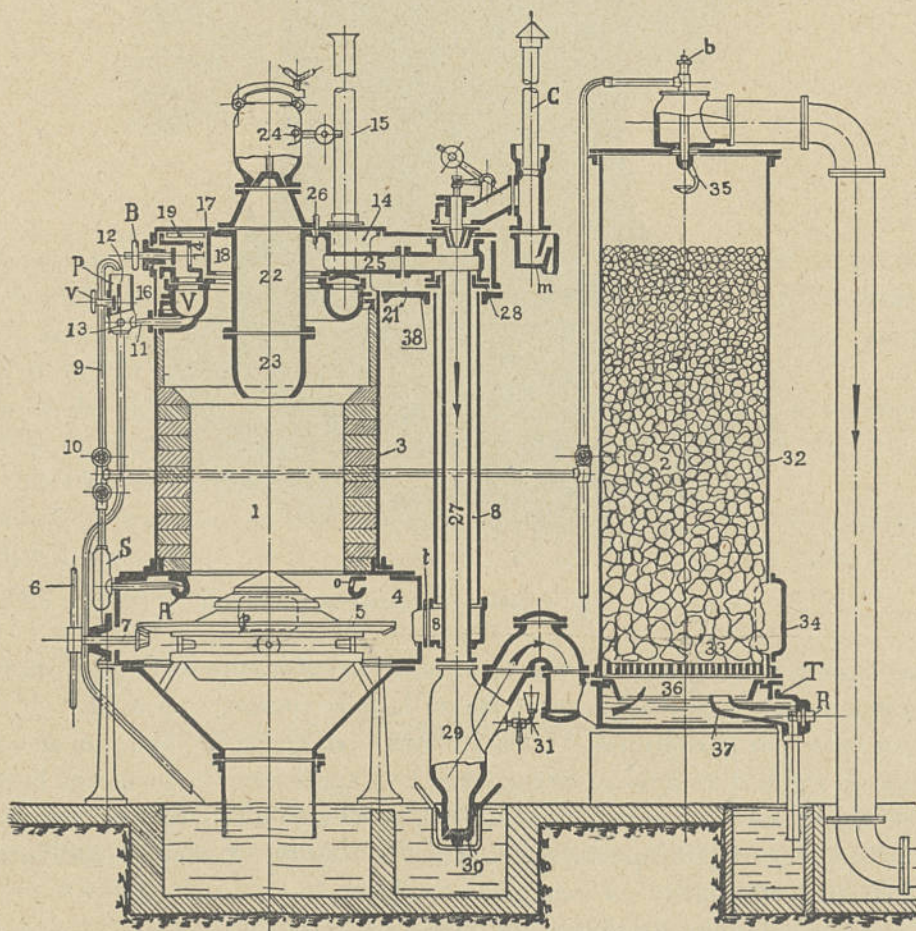


Fig. 146. — Coupe du gazogène Winterthur.



Winterthur, a établi un modèle de gazogène à sole tournante, pour lequel on revendique une construction simple, un fonctionnement économique et une manutention facile : que peut-on souhaiter de plus ?

Le foyer est renfermé dans une cuve en tôle 3 (fig. 146), avec cendrier en fonte 4, monté sur colonnes, dont la partie inférieure plonge dans une fosse pleine d'eau. La sole tournante 5 est logée dans le cendrier. Elle affecte la forme d'un champignon : elle est montée sur galets.

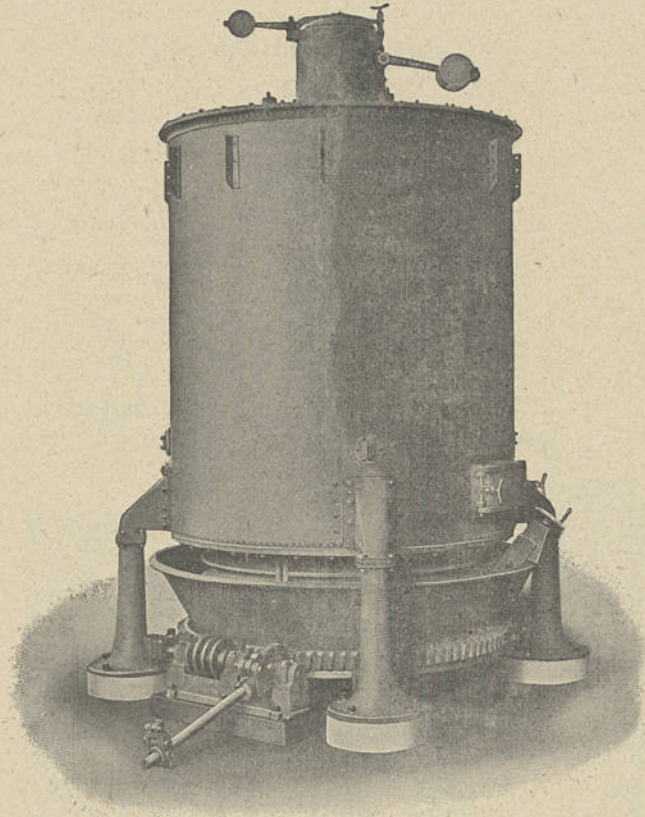


Fig. 147. — Vue extérieure du gazogène Winterthur.

Les figures 147 et 148 font voir la disposition extérieure de la sole : on peut la commander par une machine motrice ou la faire tourner à la main.

L'air entre par la couronne A : des siphons L amènent de l'eau, qui se vaporise dans la rigole d'un anneau circulaire *o*. Le vaporisateur V surmonte la cuve en tôle : l'eau y est amenée par la conduite 9, pourvue d'un robinet de réglage 10 ; P remplit l'office de trop-plein. Mais on peut l'obturer et remplir entièrement la chaudière d'eau, quand on marche en veilleuse.

L'appareil est muni du doseur automatique déjà décrit.

Le couvercle cylindrique de la cuve contient un magasin à combustible 22,



plus ou moins allongé vers le bas, suivant la nature et la forme du charbon.

La trémie 24 peut pivoter autour de deux broches et découvrir entièrement l'orifice du magasin.

Le réchauffeur d'air 14 est formé par le manteau cylindrique en tôle, formant prolongation de la cuve 3, et par le couvercle 17. Il communique avec l'extérieur, par les ouvertures 19, et avec le conduit surchauffeur 8, par le canal 21.

Les gaz partent par 27, qui traverse le surchauffeur et se termine en haut

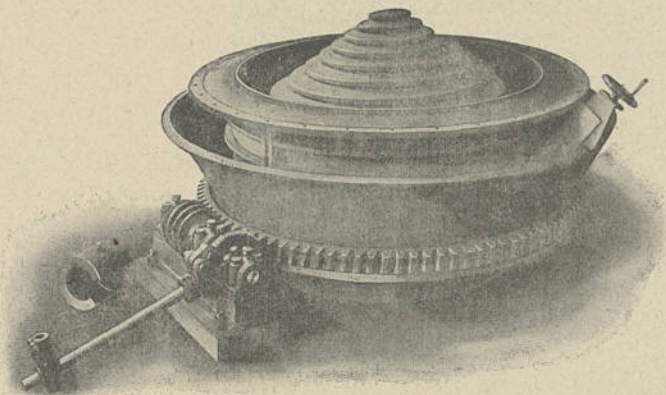


Fig. 148. — Sole tournante Winterthur.

par la soupape de la cheminée allant vers C; un pot *m* recueille les produits de la condensation. La colonne de coke du scrubber 32 repose sur une grille en bois 33, accessible par la porte 34. L'anneau 36 forme joint hydraulique : on peut y faire baisser le niveau de l'eau, lors des mises en route du moteur.

On traite dans ce gazogène des charbons à plus de 20 % de cendres, si toutefois celles-ci ne sont pas trop fusibles, auquel cas la cuve est pourvue d'un refroidisseur spécial.

Quand on travaille des houilles à pourcentage élevé de matières volatiles, on adjoint au scrubber un extracteur centrifuge, dont nous aurons à nous entretenir ultérieurement.

#### 4. Gazogène Chavanne-Brun (Morgan).

MM. Chavanne-Brun frères ont obtenu la licence de construction du gazogène Morgan, d'origine américaine, qui jouit d'une réputation méritée dans les ports d'outre-mer.

Ce gazogène porte une grille en forme de cône ajouré, placée au centre de la cuve et tournant avec le bassin d'eau qu'elle surmonte.



La rotation sur billes, bien protégées contre les cendres, exige une faible dépense de travail.

En vue d'un emploi d'un charbon exposé à s'agglomérer, la cuve présente une section très élargie qui s'oppose aux voûtes; elle est surmontée d'un chargeur rotatif.

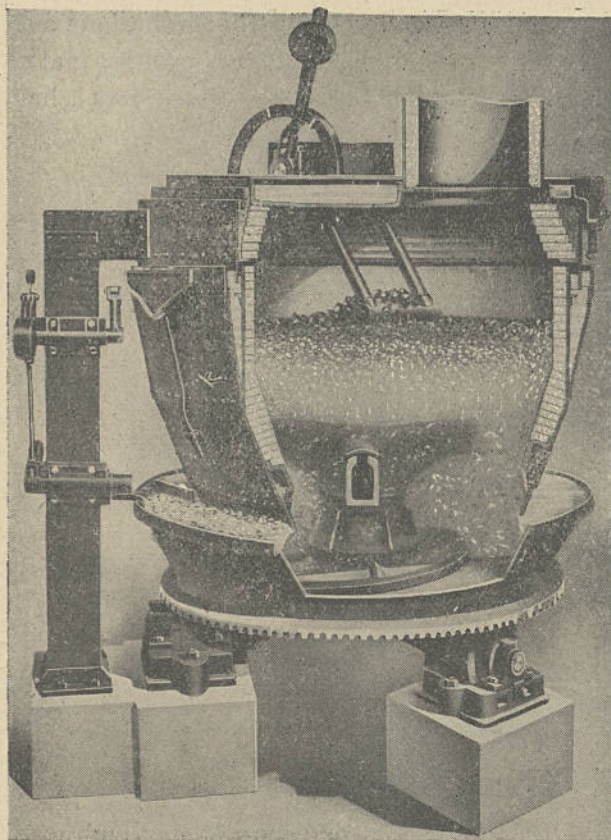


Fig. 149. — Gazogène Chavanne-Brun.

La figure 149 fait voir ce chargeur ainsi que la grille tournante.

Le chargeur, constitué par un cône circulaire tronqué et renversé, dont la pointe est excentrée, par rapport à la cuve, éparpille les morceaux, de telle sorte, disent les inventeurs, que chacun d'eux a le temps de se transformer en coke avant que le voisin ne se colle à lui. La couche supérieure est constamment nivelée et triturée par une sorte de rateau, qui pénètre dans le charbon : cet appareil dispense de tout piquage à la main. Le fond entier du cendrier est raclé par une bêche en forme de spirale, qui évacue les

cendres par tranches uniformes sur toute la section de la cuve.

Cet appareil possède une capacité énorme de gazéification : on peut y traiter, en vingt-quatre heures, près de 32 à 35 tonnes de charbon. D'autre part, la surveillance est très facile et l'on réduit considérablement la main-d'œuvre. MM. Chavanne-Brun annoncent qu'ils ont déjà installé plus de 170 gazogènes en France.

### 5. Gazogène Bollinckx.

Le gazogène Bollinckx est caractérisé par une double cuve, de très grande section, permettant de fonctionner à allure froide; on évite ainsi la formation des mâchefers (fig. 150).



La cuve est double; la cuve intérieure, en acier doux coulé d'une pièce, constitue à la fois le foyer et le vaporisateur. Elle porte une série de rigoles circulaires, dont la première reçoit l'eau par un doseur automatique. La cuve extérieure, formant enveloppe et protection thermique, présente des portes donnant vue sur les rigoles. Ces portes restent ouvertes en marche.

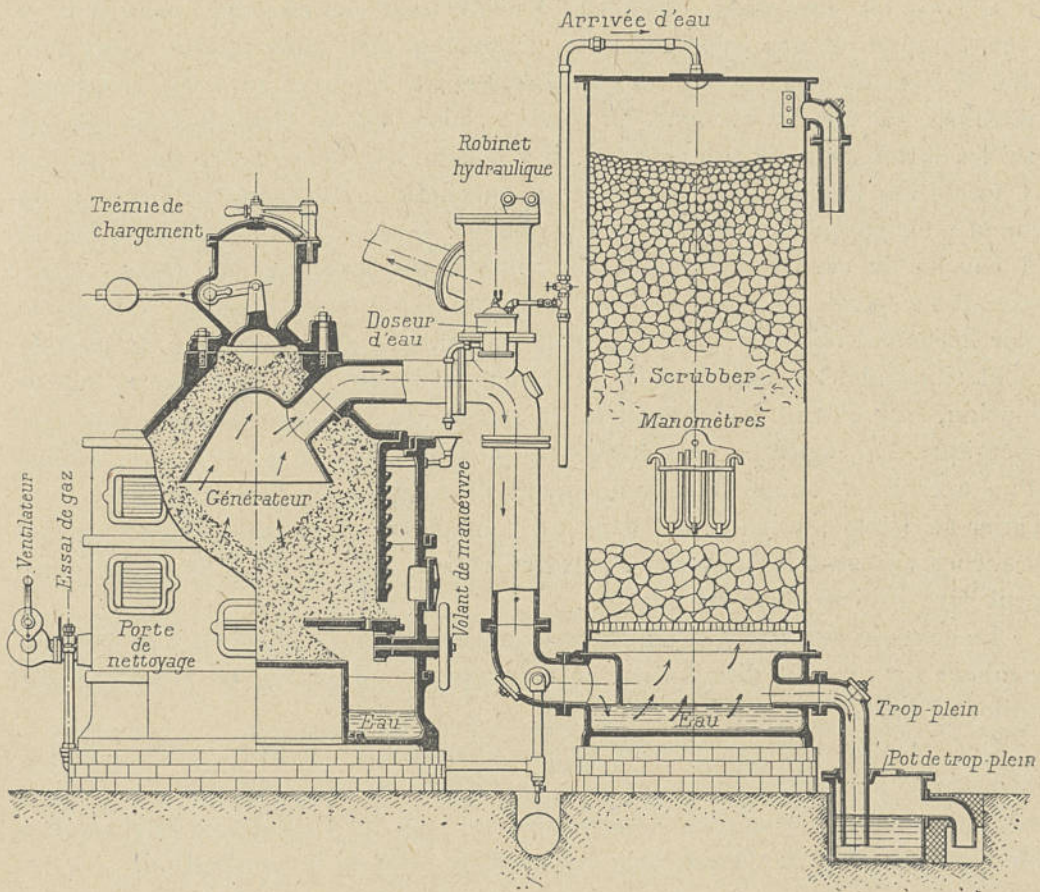


Fig. 150. — Gazogène Bollinckx.

Le charbon repose sur une sole tournante, actionnée par une crémaillère et un volant à main; on fait tomber les cendres en donnant quelques tours de volant. La base du gazogène, formant cendrier, est remplie d'eau.

Cet appareil permet une marche continue, longuement prolongée, sans arrêt et il possède un bon rendement.

Signalons que trois manomètres sont montés sur la cuve, le scrubber et le moteur : c'est le meilleur moyen de suivre et d'apprécier à tout instant la marche de la gazéification.



## 6. Gazogène Parsy.

Les inventeurs de ce producteur de gaz pauvre ont poursuivi l'application d'un « principe nouveau », ce qui est devenu une chose assez rare aujourd'hui : nous leur laissons le soin de l'exposer.

« Tous les gazogènes, disent-ils, à décrassage automatique connus à ce jour, comportent une sole tournante, supportant une grille faisant corps avec elle. Il s'ensuit que les cendres et mâchefers qui reposent sur cette grille sont entraînés par son mouvement de rotation, alors que le charbon incandescent qui les surmonte n'est pas entraîné. Il y a donc décollement des deux couches et formation inévitable d'une voûte de mâchefer... Le gazogène Parsy a été conçu pour supprimer ce grave inconvénient. Il ne comporte pas de grille, et la couche de cendre, surmontée du combustible incandescent, repose directement sur la sole du gazogène qui est fixe au lieu d'être tournante. » Un agitateur hélicoïdal fait subir aux morceaux de charbon et aux cendres un mouvement sinusoïdal les soulevant et les faisant retomber d'un mouvement lent et continu, qui détruit les cheminées et réalise un brassage des éléments très énergique. Cet agitateur est formé de plusieurs branches rayonnant autour d'un axe; il est animé d'un mouvement de rotation uniforme; on peut faire varier sa vitesse, suivant la nature du combustible. Les surfaces gauches des branches chassent les cendres du centre vers la périphérie. Une petite noria peut être utilisée pour les évacuer.

La cuve est surmontée d'un chargeur automatique, les morceaux de charbon tombent sur un cône distributeur en mouvement, qui les égrène et les répartit uniformément.

Les gazogènes Parsy revendiquent l'avantage de pouvoir utiliser industriellement les combustibles les plus cendreuse; on nous dit que les cendres sont alors même exemptes d'escarbilles, ce que les inventeurs attribuent à l'indépendance de la vitesse de rotation et de celle de la combustion.

## 7. Gazogène Chapman.

Cet appareil est construit en Amérique et en Angleterre par la Chapman Engineering Co : il est caractérisé par un agitateur mécanique de forme particulière, composé d'un bras horizontal muni de doigts verticaux, qui n'agissent que sur la partie supérieure du combustible. Il n'a pas pour objet de désagréger les mâchefers une fois formés, mais d'en empêcher la production en détruisant les cheminées qui contribuent le plus à donner de mauvais gaz. On a dit que c'est un agitateur flottant, parce qu'il suit la variation de hauteur



des couches et se déplace avec elles. Il nivèle parfaitement la surface supérieure du combustible. Le bras mobile est refroidi par une circulation d'eau.

L'alimentation est automatique; le charbon arrive par le centre et se trouve également réparti sur toute la section de la cuve (1).

### 8. Gazogène Pineau.

Le constructeur de cet appareil est sorti de la voie généralement suivie par ses concurrents en imaginant un nouvel appareil à chargement mécanique par-dessous. Le charbon distille alors au fur et à mesure de son introduction dans la cuve au sein de la matière déjà portée à l'incandescence. Le goudron se décompose et le gaz subit un filtrage à la traversée du coke au rouge. Ce résultat est obtenu d'autant plus sûrement que le chargement est continu et qu'il s'effectue progressivement.

Les chargeurs par-dessous ont été employés depuis longtemps et ne peuvent avoir prétention de nouveauté; mais l'inventeur revendique l'originalité du dispositif de montée verticale du charbon. Une trémie latérale le déverse dans les filets d'une vis d'Archimède horizontale, dont le mouvement le fait progresser en avant, et le pousse dans les filets d'un tronçon de vis centrale verticale animée elle-même d'un mouvement de rotation. Des disques découpés en trèfle à quatre feuilles, dont les pales s'engagent dans les filets de la vis centrale, interviennent alors pour assurer l'ascension du combustible. Ils tournent librement sur leur axe, mais forment des cloisons mobiles verticales, qui empêchent la matière de suivre la vis dans son mouvement de rotation et déterminent une poussée suivant son axe. Le charbon monte régulièrement, nous dit-on, sans broyage ni coincement. La vis fait trois ou quatre tours par minute, mais on peut lui donner une vitesse plus grande. Le mécanisme, composé d'un train de roues dentées et de deux roues coniques, est entièrement protégé contre l'obstruction des cendres.

Le combustible brûlé repose par un cône d'éboulis sur une grille; un vaporisateur entoure le cône et fournit de la vapeur par un passage annulaire, qui sert de protection contre une chaleur trop intense du feu.

M. Pineau a monté son gazogène sur une locomobile de 30 chevaux; l'appareil présente, paraît-il, une faculté d'auto-épuration qui dispense de laver le gaz. Nous aurons l'occasion d'en parler encore.

### 9. Gazogène Leflaive.

Les ateliers de la Chaléassière, de MM. Leflaive et C<sup>ie</sup>, ont aussi entrepris de

1 *Le Génie civil*, 14 mai 1921.



construire un gazogène à mécanisme; il se compose d'un corps cylindrique fixe, en tôlerie, portant à sa base une grille tournante et une cuve à cendres fixe. La grille comporte des orifices étagés, qui répartissent l'air dans toute la section du gazogène; elle a la forme d'une étoile et les saillies qu'elle présente remuent le charbon incandescent et empêchent les croûtes de se former. Un soc de charrue élimine les cendres.

La trémie supérieure, portée par le couvercle, est à double cône, en vue de répartir le charbon sur toute la section du gazogène : on peut déplacer la cloche du distributeur suivant le besoin.

MM. Leflaive ont construit des appareils dont la cuve mesure 2 à 3 mètres de diamètre intérieur; la hauteur du charbon sur grille est de 80 centimètres à 1 mètre.

On a réussi à traiter des charbons français contenant jusqu'à 40 % de fines; le gaz renfermait 8 à 10 d'hydrogène, 26 à 28 d'oxyde de carbone et 3 à 4 % d'acide carbonique. Avec des charbons riches en matières volatiles, on dit avoir obtenu du gaz d'un pouvoir de 1.400 à 1.500 calories. Ces renseignements m'ont été communiqués par MM. Leflaive.

Nous arrêterons là notre description des gazogènes à mécanismes, renonçant à mentionner tous les systèmes adoptés dans cet ordre d'idées.

### III

## GAZOGÈNES A TIRAGE RENVERSÉ

Le tirage renversé, qu'on appelle souvent la combustion renversée, est considéré par beaucoup d'ingénieurs comme la panacée universelle contre l'entraînement par les gaz de carbures condensables et de goudrons. J'ai déjà étudié ci-dessus le procédé et ne reviendrai pas sur ce qui en a été dit.

Qu'on me permette seulement de rappeler que, pour réussir à transformer les goudrons, il est nécessaire de les placer dans une atmosphère oxydante à une température élevée, afin de donner lieu à une combustion préalablement partielle, avant de faire passer le mélange gazeux sur une colonne de coke maintenue au rouge par le contact d'une quantité déterminée de vapeur et d'air.

La chaleur seule est donc incapable d'éliminer les goudrons d'un gaz; il faut l'atmosphère oxydante. D'autre part, la combustion opérée doit rester partielle, sinon la température monterait trop haut et rien ne lui résisterait, ni grilles, ni terres réfractaires; de plus, il se produirait un tel excès de  $\text{CO}^2$ , qu'aucune colonne de coke ne serait assez longue pour le réduire. Il y a évidemment un juste milieu à tenir, comme en toutes choses, et à ne point dépasser.



On débuta dans cette voie en faisant passer les gaz à travers une cuve subséquente, remplie de coke incandescent maintenu au rouge : on recourait donc à deux cuves, associées, qu'on appelait les cuves *jumelles*.

L'emploi de cuves jumelles n'est point une nouveauté, quoi qu'on ait pu en dire; en effet, Lencauchez a exhumé d'un mémoire d'Ebelmen, de 1842, la description d'un appareil proposé par l'illustre ingénieur français, dont on semble méconnaître aujourd'hui l'initiative féconde. A son gazogène en forme de cubilot, il adjoignait une seconde cuve à peu près d'égale hauteur; dans la première il chargeait du bois cru, dans la seconde du charbon de bois. Le bois brûlait dans le cubilot, et les produits de la combustion incomplète, accompagnée de distillation, traversaient la seconde cuve où le charbon de bois était au rouge; le vent entraît dans le cubilot par le haut, le parcourait de haut en bas, recevait un appoint d'air surnuméraire au bas de la colonne et y remontait de bas en haut en s'infiltrant entre les interstices du charbon incandescent. Nous trouvons là une première application du tirage renversé; il était bon de le mentionner et de lui donner une date. Le gaz recueilli au sortir de la seconde cuve était dépouillé de ses goudrons.

L'ingénieur anglais Twaite reprit l'idée du jumelage des cuves; la combustion s'effectuait dans la première, la réduction dans la seconde, avec adduction d'une quantité d'air surnuméraire. Cette manière de faire permit d'utiliser des houilles à 30 % de produits volatils et 27 % de cendres, et il y avait lieu de se déclarer satisfait; mais on voulut faire mieux.

La nouvelle organisation était plus complexe. Il fallait entretenir la haute température de la colonne de réduction; pour cela, on se souvint de ce qu'avait fait Siemens, et l'on s'avisa de recourir à un renversement de marche, de la manière qui suit. Les deux cuves furent réunies par le haut; l'air fourni au bas de la première A la parcourait de bas en haut; les gaz ainsi engendrés étaient conduits à la partie supérieure de la seconde B qu'ils redescendaient, en y subissant la combustion partielle et la réduction, qui sont l'objet du système. Au bout d'un certain temps, A était très chaud, B tendait à l'être moins; à ce moment, on intervertissait le sens du tirage, le vent étant donné au bas de B, les gaz sortant par le bas de A. Les gaz trouvaient toujours la température nécessaire aux phénomènes de réduction, mais au prix d'une complication sérieuse, le renversement de marche.

Le gazogène Twaite changea ensuite de forme et il prit de grandes dimensions : il se prêta bien à l'alimentation des moteurs et eut bientôt de nombreux imitateurs.

### 1. Gazogène Riché.

M. Riché a eu un double mérite; et d'abord, il a réussi à fabriquer un bon gaz de moteur avec du bois, des copeaux, de la sciure, des tourbes, de la tannée,



voire même des déchets organiques; d'autre part, il a contribué à ramener l'attention des ingénieurs sur la marche à tirage renversé.

On a discuté longuement pour décider du nom qu'il convenait de donner aux appareils Riché; sont-ce des cornues ou de vrais gazogènes? La question a peu d'intérêt pour nous. La seule chose qui nous importe c'est de savoir qu'ils ont fourni un gaz pauvre dont les moteurs s'accommodaient fort bien.

M. Riché a donné diverses formes à ses producteurs de gaz pour moteurs.

Son premier appareil se composait d'une cornue verticale en fonte, cylindrique dans sa partie supérieure, tronconique au bas; on en fermait l'ouverture du haut par un couvercle articulé sur charnière et équilibré par un contrepoids. La partie inférieure s'emboîtait dans un réservoir sphérique en fonte, destiné à rassembler les gaz qui s'en échappaient par une tubulure latérale pour traverser un barillet et un laveur avant d'entrer dans le gazomètre. Le principe du procédé consistait donc dans une distillation renversée faisant passer les gaz sur une colonne incandescente de charbon de bois, résidu d'opérations précédentes.

M. Riché a bientôt perfectionné ce premier dispositif et son appareil a pris une nouvelle forme un peu différente de celle que nous venons de décrire. Il faisait toujours de la distillation renversée, mais deux cornues étaient accouplées dans un même massif de maçonnerie, de manière à mieux utiliser le calorique développé et à assurer un meilleur travail de distillation et de réduction.

Ces gaz formés traversaient donc une longue colonne devenue incandescente au cours d'une opération précédente dans la cornue jumelle, annexée à la première : c'était à peu de chose près le dispositif Twaite. On obtint de bons résultats.

Le gaz était d'une richesse inattendue, son pouvoir atteignant 2.956 calories. Un moteur Charon, de 290 millimètres de diamètre et 0 m. 460 de course, développa 13,5 chevaux effectifs pour 160 tours à la minute.

A Calais, la Société générale des industries économiques avait garanti que le gazogène Riché distillerait, par vingt-quatre heures, 1.400 kilogrammes de bois, produirait 200 kilogrammes de charbon de bois sec et alimenterait par surcroît un moteur de 50 chevaux. Un essai constata que ces garanties étaient tenues.

Plus tard, M. Riché modifia encore la forme de son gazogène et il créa un type qu'il appela autoréducteur.

Cet appareil (fig. 151) est constitué par deux cuves, réunies à leur partie inférieure par un carneau horizontal. La première, à droite, est la cuve de combustion; à sa base, se trouve le foyer, avec grille à gradins, alimenté d'air soufflé amené par un tuyau qui débouche à la partie supérieure du cadre de la porte. Les produits de la combustion se rendent par le carneau au pied de la seconde cuve, la cuve de réduction, garnie de coke ou de charbon de bois. Une deuxième entrée d'air, introduisant l'air secondaire, placée au milieu du carneau



horizontal, permet à la combustion partielle des produits reçus par cette cuve de s'achever.

Le fonctionnement est dès lors le suivant : on charge la première cuve du combustible à brûler; il en sort un mélange de gaz combustibles et de vapeur d'eau, qui continue sa combustion dans la colonne de réduction et y entre-

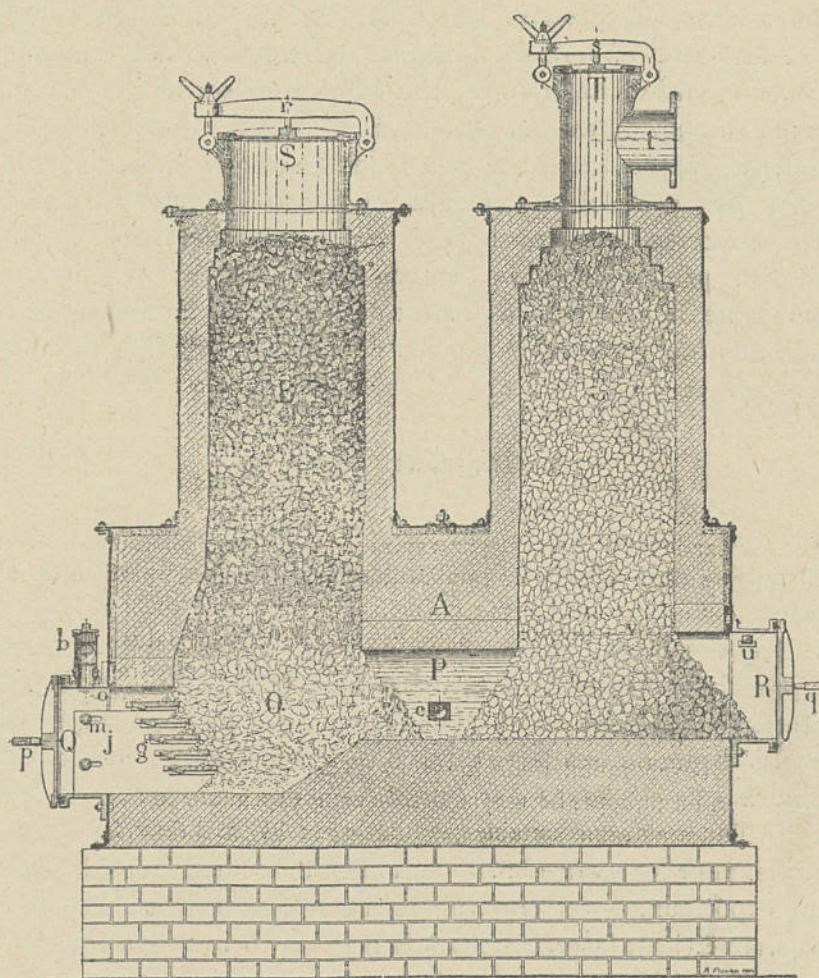


Fig. 151. — Gazogène Riché.

tient la température qu'il faut pour y assurer la dissociation des produits de la distillation.

Quand on traite du bois, il est inutile d'introduire de l'eau dans le foyer; pour d'autres matières que le bois, on fait arriver un mince filet d'eau sur les barreaux de la grille du foyer. On réalise ainsi une marche continue et le gaz engendré présente une constance suffisante de composition, à condition que la colonne de combustion garde sa température élevée, ce qui est le point délicat de la



question. On dispose généralement une cloche de gazomètre sur la conduite menant les gaz aux moteurs.

M. Riché revendique, comme un avantage de son appareil, que la combustion effectuée horizontalement sous faible épaisseur, empêche la formation de mâchefers de grande dimension; il fait ressortir aussi les facilités de décrassage de la grille.

Les dimensions de ce gazogène ne sont pas excessives, malgré la duplication de la cuve : ainsi le n° 8, qui peut alimenter un moteur de 300 chevaux, quand on fonctionne à l'antracite, n'a que 4 m. 20 de longueur de caisson et 2 m. 80 de largeur; la hauteur du caisson est de 1 m. 40 et celle des trémies de 1 m. 60.

Le gazogène Riché fonctionne avec des charbons maigres de médiocre qualité; il permet l'emploi de demi-gras et même de gras, qui donnent trop souvent des goudrons nuisibles dans les producteurs habituels; il suffit alors d'augmenter un peu l'adduction d'air dans la seconde cuve. La notice publiée par la Compagnie du gaz Riché a produit des références intéressantes, relatives à l'utilisation de toutes sortes de combustibles, pris même sous forme de pous-siers.

## 2. Gazogène Pintsc .

Cet appareil appartient à la catégorie de ceux dans lesquels les produits de la distillation sont captés à part et ramenés au bas de la cuve avec l'air d'insufflation.

Voici de quelle façon ce résultat est obtenu : aucun dessin n'est nécessaire pour comprendre le dispositif adopté, lequel est extrêmement simple. La trémie d'alimentation se prolonge dans l'axe de la cuve par un large corps cylindrique, dans lequel s'accumule une forte réserve de charbon frais; celui-ci est entouré par les gaz chauds et chauffé par eux. A la haute température développée, ce charbon distille; il s'agit d'extraire les carbures ainsi formés et de les ramener sous la grille, pour les y faire brûler au milieu du courant d'air insufflé, à l'aide de brûleurs spéciaux. A cet effet, un injecteur à vapeur est disposé au milieu d'une colonne verticale latérale, reliant le haut du corps cylindrique au cendrier; il aspire d'une part les gaz distillés et les refoule d'autre part dans les brûleurs.

L'objectif poursuivi par l'inventeur est rationnel, mais les moyens employés sont trop rudimentaires pour échapper à toute objection. Les charbons riches en produits volatils, dont on suppose l'emploi, se cokifient dans le corps cylindrique, y foisonnent, s'agglutinent entre eux et ne descendent plus; on est fatalement obligé de passer le ringard par la trémie ou par des regards disposés *ad hoc*.

Les brûleurs et la grille sont, d'autre part, amenés à une température élevée, qui permet de douter de leur longue durée.

Enfin, ce gazogène suppose un chargement répété à fréquents intervalles,



assurant un dégagement continu d'hydrocarbures, sinon il se produira dans la richesse du gaz engendré des intermittences qui feront varier d'une façon trop marquée sa composition.

Le gazogène Pintsch a été modifié de diverses manières par plusieurs inventeurs. Ces dispositifs, marqués au coin d'une certaine ingéniosité, ne paraissent pas avoir répondu aux vues de ceux qui les avaient conçus, car ils ne sont pas entrés dans la pratique industrielle et on ne les rencontre que dans les livres.

La maison Pintsch a créé aussi un gazogène destiné à brûler des déchets de combustibles maigres et des escarbilles de foyers (fig. 152). Une large cuve, de grand diamètre et de faible hauteur, est munie de deux grilles à gradins, placées en face l'une de l'autre aux extrémités d'un même diamètre : elles supportent le charbon versé dans la cuve par les deux ouvertures C. Le combustible appuie d'autre part sur un V renversé, en briques réfractaires, qui ménage en dessous de lui un vide, par lequel s'échappent les gaz, pour gagner la sortie B. L'air insufflé et la vapeur entrent par deux ouvertures A, placées en dessous des grilles, qui sont recouvertes d'une crépine de diffusion; celle-ci empêche les cendres de venir les obstruer dans les opérations de décrassage. Les portes D servent à la manœuvre.

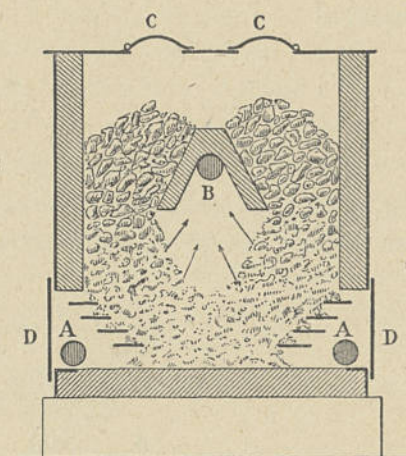


Fig. 152. — Gazogène Pintsch.

La conduite de cet appareil présente, dit-on, de grandes facilités; le départ central du gaz empêche la formation de cheminées contre les parois; le V assure une descente régulière du charbon; les produits de distillation sont obligés de passer à travers une couche de carbone incandescent, qui les débarrasse des goudrons. Il faut reconnaître que ce gazogène est d'une extrême simplicité. Mais sa mise en marche exige plusieurs heures, attendu qu'il faut chauffer progressivement la chamotte et augmenter graduellement le soufflage. Les additions de charbon doivent être fréquentes et fort régulières; on obtient alors un gaz de composition constante.

Cet appareil a été utilisé en Allemagne pour utiliser le fraisil retiré de la boîte à fumée des locomotives : ce combustible est constitué par des grains très menus de coke de nature différente, suivant celle du charbon qui les a produits. Il en est qui renferment plus de 30 % de cendres et ne possèdent qu'un pouvoir de 4.500 calories; mais, le plus généralement, le pouvoir atteint 6.000 calories, avec une teneur en cendres de 20 % et d'eau de 5 à 10. Le gaz engendré est à 1.000 calories environ; il contient de 17 à 24 de CO et de 20 à 9 d'hydrogène.



Trois gazogènes Pintsch alimentent à Königsberg trois moteurs de 180 chevaux, dont on estime la consommation à 750 grammes de fraïsil par cheval-heure effectif; ils fonctionnent durant des mois continûment et sans arrêts; le gaz est donc très propre. Le prix du kilowatt-heure ressortait à 2,6 pfennings, combustible, intérêts et amortissements et tout compris : le combustible était compté dans ce prix pour 15 % seulement. Nos compagnies de chemins de fer auraient intérêt à suivre l'exemple que leur donnent les administrations allemandes.

### 3. Gazogène Letombe.

Letombe, dont la fécondité d'invention était inépuisable et l'activité inlassable, ne pouvait manquer de se porter vers le tirage renversé, qui avait toutes les faveurs des théoriciens, en attendant qu'il conquît les suffrages des indus-

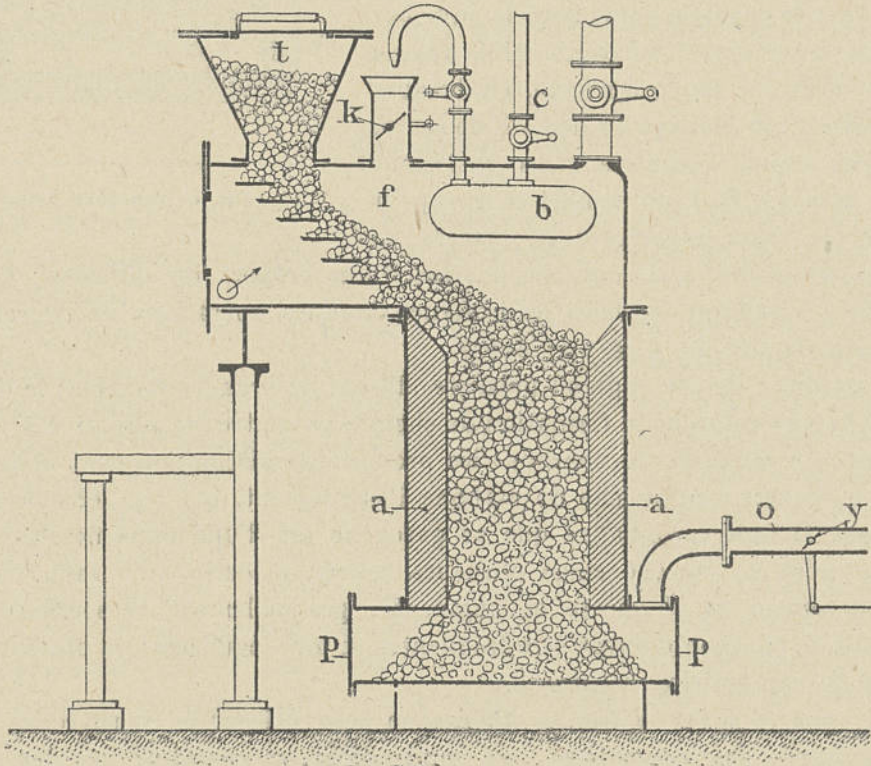


Fig. 153. — Gazogène Letombe à tirage renversé.

triels. Il a créé plusieurs modèles : nous en décrivons un seul, dont la simplicité est séduisante <sup>(1)</sup>; il est à aspiration par le moteur et convient particulièrement à l'emploi des lignites.

1. LETOMBE, *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France*, janvier 1908.



La cuve de gazogène *a* (fig. 153) est surmontée d'une partie de section plus grande, dans laquelle se trouve le foyer; le combustible, chargé par la trémie *t*, tombe sur la grille à gradins *f*, qui possède une inclinaison suffisante pour que les morceaux de charbon s'écoulent d'eux-mêmes dans la cuve, suivant leur talus naturel d'éboulement. L'air aspiré arrive au foyer par l'orifice supérieur *k*, à papillon réglable, et par un second orifice, qui le fait déboucher sous la grille; le conducteur peut modérer à volonté l'afflux d'air par l'une ou l'autre voie.

Les produits de distillation de la houille sont rencontrés par l'air, admis en *k* et brûlés en partie avant de s'engager dans le volume qui remplit le corps cylindrique de la cuve. Cette colonne, qui reçoit le charbon descendu de la grille, est incandescente; elle est constamment pleine, attendu qu'au fur et à mesure que le charbon se brûle, il fait crouler les fragments portés au rouge sur la grille. La réduction des gaz incomplètement brûlés s'effectue à la traversée de cette colonne; leur départ a lieu par le tuyau de sortie *o*, muni du papillon *y*. Les deux portes *P* permettent de retirer les cendres et scories, qui s'accumulent à la partie inférieure de la cuve. La vapeur d'eau est fournie par la chaudière, en forme de bouillotte *b*, placée devant le foyer, et alimentée par *c*; le jet de vapeur est dirigé dans l'axe de l'arrivée d'air *k*; la quantité admise est modérable par un robinet.

La combustion des produits de distillation suffit pour entretenir à l'incandescence la colonne renfermée dans la partie *a* et la descente du charbon est assurée; d'autre part, il n'y a pas à craindre que le feu se localise à la partie inférieure, puisque l'air afflue par le haut. Mais on risquerait d'obstruer le passage des gaz, si le combustible renfermait une trop forte proportion de cendres.

Letombe avait aussi inventé un type qu'il appelait à *combustion partielle préalable*; un ventilateur aspirait par le haut de la cuve une partie des gaz distillés, mêlés d'un peu d'air chaud, de manière à activer la distillation par la chaleur développée par la réaction qui ne pouvait manquer de se produire: le mélange étant renvoyé dans le foyer, on pouvait espérer que les matières volatiles subiraient un commencement d'oxydation dès leur dégagement, et que la masse du combustible frais ne se boursoufflerait pas et descendrait plus facilement dans la cuve.

J'ignore si ce brevet a subi l'épreuve de la réalisation.

#### 4. Gazogène Fichet et Heurtey (Heurtey et Sauvageon).

Dans le but d'utiliser des charbons gras, MM. Fichet et Heurtey avaient établi autrefois un gazogène à deux cuves, modèle Ebelmen (cuve à houille et cuve au coke), auquel ils ont renoncé pour donner la préférence à un appareil



à tirage renversé, avec admission d'air par la partie supérieure sur le combustible fraîchement chargé. Ce dispositif ayant fait constater un déchet impor-

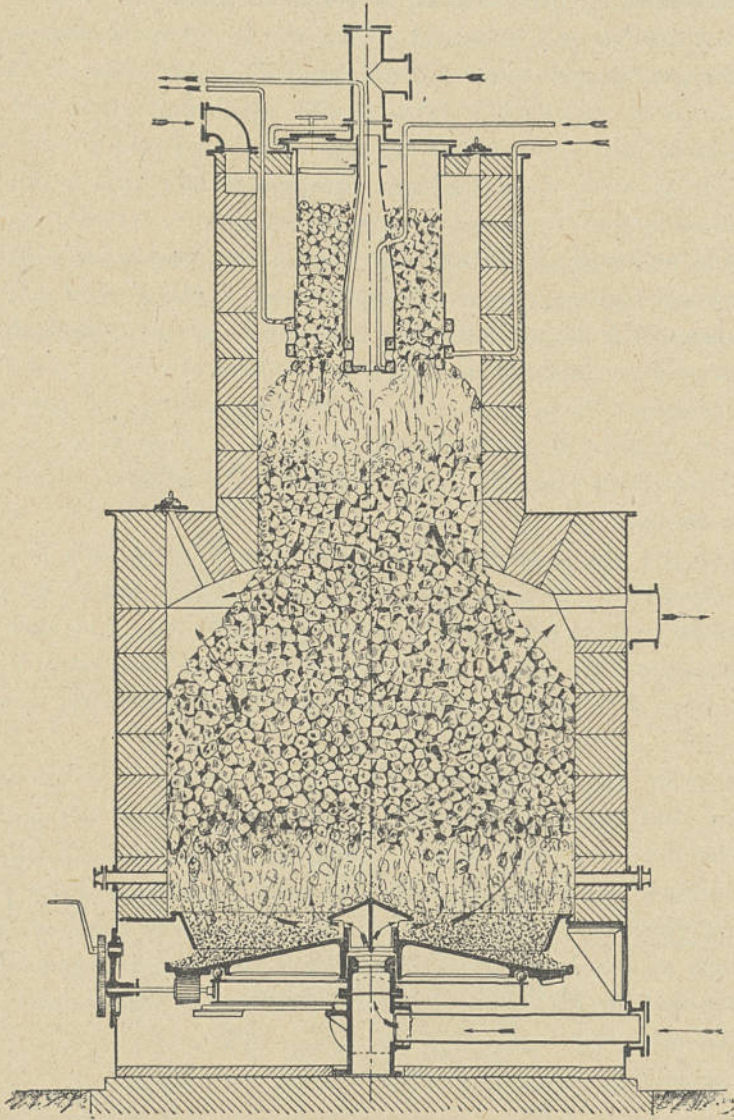


Fig. 154. — Gazogène Heurtey et Sauvageon.

tant de combustible, qui abaissait le rendement, on l'a encore transformé pour s'arrêter enfin à un type définitif à double combustion.

Cet appareil, représenté par la figure 154, est formé de deux gazogènes superposés, alimentés du même combustible, constituant deux foyers distincts



SOCIÉTÉ ANONYME  
DU NORD DE LA FRANCE  
116, Rue de l'Hydrogène  
Paris

avec un départ de gaz commun. La combustion est normale, par conséquent dirigée de bas en haut dans l'étage inférieur; elle est inversée, c'est-à-dire dirigée de haut en bas, dans l'étage supérieur.

Le chargement de charbon et l'adduction de l'air sont disposés, dans la cuve supérieure, de manière à assurer une distillation complète du combustible dans une zone de faible hauteur, en même temps que se produit la décomposition des hydrocarbures engendrés par cette distillation; il suffit à cet effet de brûler dans cet appareil la quantité de combustible nécessaire pour maintenir la masse à la température élevée requise pour produire un gaz de bonne qualité. L'étage inférieur est alimenté par le charbon distillé qui descend, et il fonctionne comme un gazogène au coke ou au charbon maigre.

La figure permet de se rendre compte des détails de construction de ce producteur : on voit que le haut de la cuve inférieure est terminé par une voûte en terre réfractaire, de forme spéciale, sur laquelle repose la cuve supérieure. Cette voûte est percée en son centre d'une ouverture de grand diamètre, permettant la descente du combustible de l'étage supérieur; l'espace qui reste libre, entre la voûte et le talus d'éboulement, forme collecteur de gaz. La cuve inférieure présente les dispositions connues des gazogènes à sole tournante, caractérisées par l'absence de grille, celle-ci étant remplacée par une couche de mâchefers, reposant sur une sole en fonte et maintenue latéralement par une garniture tronconique prolongeant le revêtement réfractaire. L'étage supérieur est d'un diamètre beaucoup plus petit, ce qui a permis au constructeur de ménager, sur la partie moyenne, des regards et trous de piquage, au-dessus du canal de départ des gaz. Le haut de l'étage est divisé, par des cloisons métalliques verticales, en un certain nombre de zones, servant les unes de réserve de charbon, et les autres de conduites d'air; elles sont disposées de telle sorte qu'une zone de charbon alterne toujours avec une zone d'air. Ces cloisons ne sont pas étanches; elles portent, au contraire, un certain nombre de fentes ou de trous, qui font communiquer les zones de combustible avec les conduites d'air. Le bas de ces cloisons est refroidi par une circulation d'eau. Le couvercle supérieur présente une série d'ouvertures, fermées les unes par des trémies de chargement, les autres par des papillons pour le réglage de l'admission d'air.

L'allumage et la mise en route de ce gazogène à double combustion s'effectue d'une manière particulière; on opère d'abord la mise de feu de la cuve inférieure, par le procédé habituel, en laissant ouverte la porte du cendrier et la cheminée placée sur la conduite de départ des gaz. Une charge étant bien allumée, on en introduit une autre, jusqu'à ce que se soit formé le talus d'éboulement qui part de la base des cloisons verticales. C'est alors seulement qu'on allume le foyer supérieur avec des copeaux et du bois, en veillant à ce que le tirage s'établisse bien et que la combustion renversée se produise dans la cuve du dessus. On ne met en service qu'après que le feu a pris une hauteur suffisante dans les deux parties de l'appareil.



Ce gazogène a fait son apparition à l'Exposition de Liège, où il alimentait les moteurs de la Société de Saint-Léonard, d'une puissance de 400 chevaux.

### 5. Gazogène Salmson.

Nous retrouvons dans ce producteur de gaz la grille tournante, mais il est surtout spécifié par sa prise de gaz, effectuée à mi-hauteur de la cuve, dans des conditions que la figure 155 fera mieux comprendre qu'un verbeux commentaire.

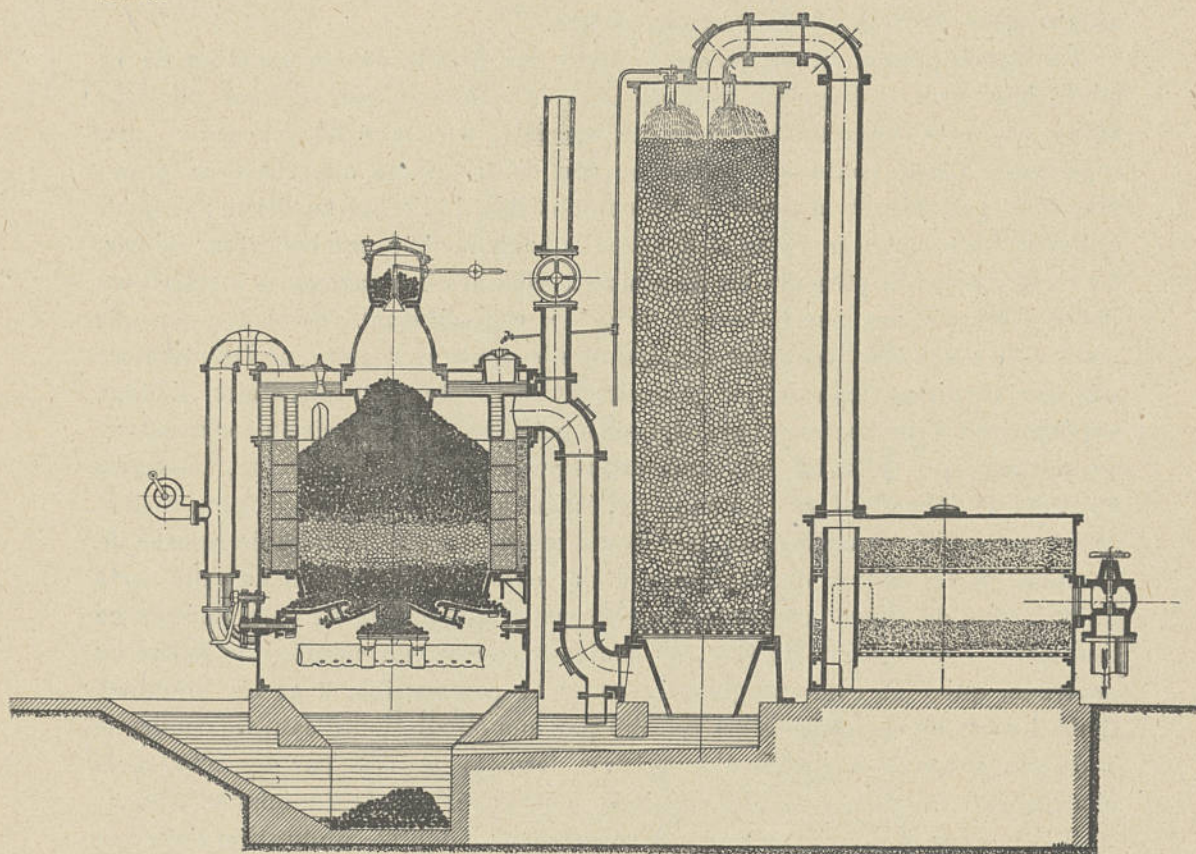


Fig. 155. — Gazogène Salmson.

La partie supérieure, formant réserve, est en fonte; sa capacité est suffisante pour ne nécessiter de chargement qu'une ou deux fois par jour, suivant le régime de marche.

Notre dessin fait voir, à la suite de la cuve, le pot des eaux résiduelles, qui arrête les poussières entraînées par les gaz, le scrubber et un épurateur à sciure de bois, à deux claires superposées, dont les dispositions facilitent le renouvellement de la matière.



## 6. Gazogène Faugé-Chavanon.

Le brevet Faugé-Chavanon revendique un perfectionnement du tirage renversé, auquel on reproche, en effet, un grave défaut : les cendres renferment beaucoup d'escarbilles cokifiées, mais non brûlées, et le rendement en souffre. On a cherché à corriger cet inconvénient, en faisant résolument un double tirage, direct par le bas, renversé par le haut. Dans ce but, on fournit de l'air sous la grille et par un orifice supérieur, logé contre la trémie.

La cuve de l'appareil est cylindrique, mais elle représente toutefois un diamètre un peu plus grand dans sa partie inférieure; la prise de gaz A s'effectue à la partie moyenne. Le creuset est légèrement conique, en vue d'empêcher la descente d'éléments ayant échappé à la combustion. L'air servi par le dessus est chauffé à sa traversée des tubes concentriques; il vient par cette voie en quantité moindre que par la grille. Les autres détails ne nécessitent pas d'explication.

Dans quelques appareils, on soutire les scories et les cendres du foyer par une vis hélicoïdale qui les fait tomber dans une fosse à fermeture hydraulique.

On arrête les poussières par une colonne sèche à coke.

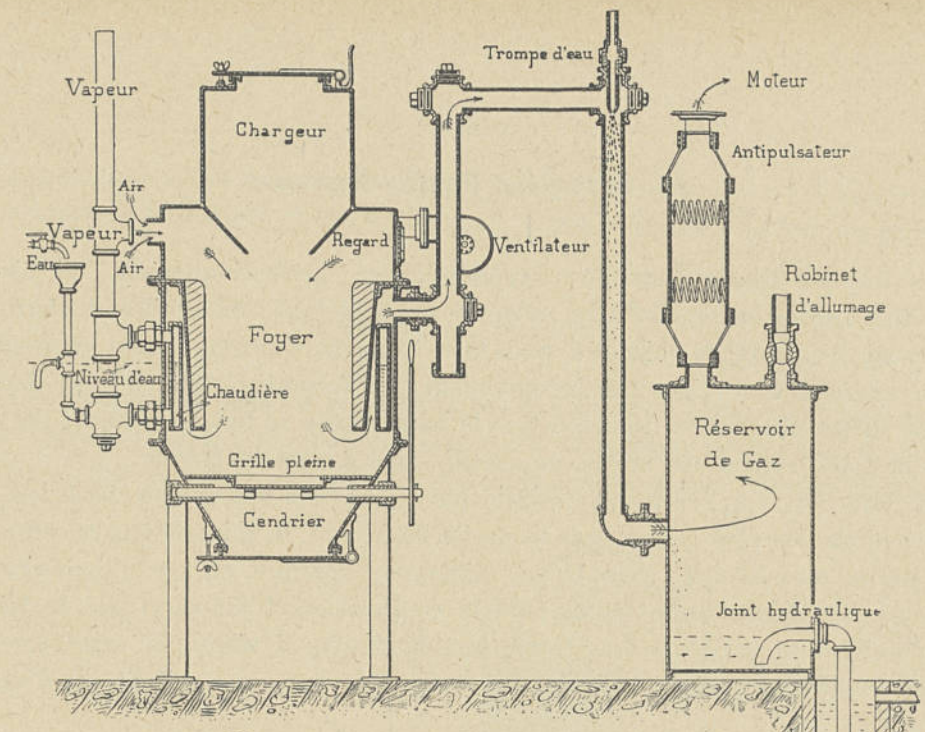
## 7. Gazogène Fornas.

Le tirage renversé cache, sous une apparence très logique, des écueils qui n'ont pas toujours été évités et que j'ai déjà signalés.

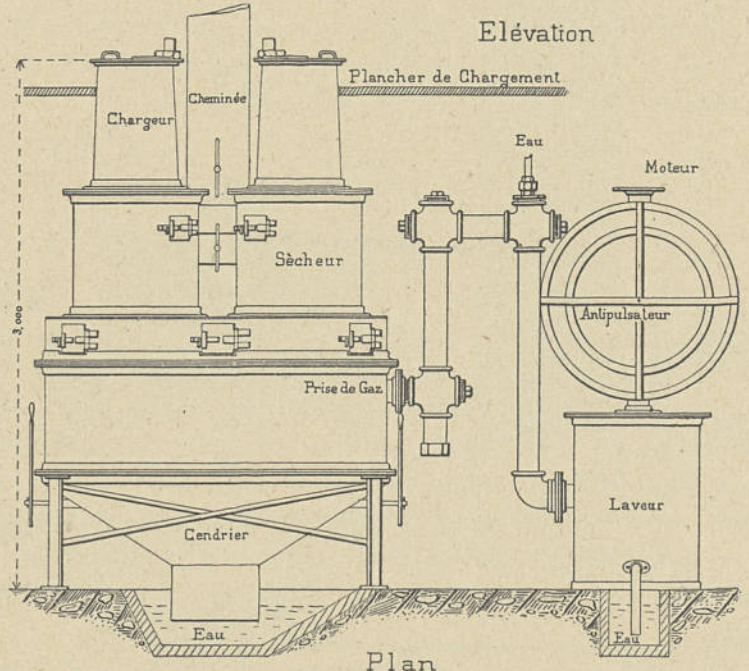
Il en est un dont on ne s'est pas toujours suffisamment méfié. Par suite de l'aspiration et de l'action de la pesanteur, le charbon brûlé et les scories se tassent au bas de la cuve et bouchent le passage des gaz. M. Fornas a constaté que l'on évitait cette obstruction en donnant au foyer une section suffisante et calculée rationnellement par rapport à celle du chargeur. D'autre part, il injectait d'abord de la vapeur dans le cendrier, et il s'est bien trouvé, dit-il, d'y renoncer.

Son gazogène (fig. 156), surmonté d'un chargeur, est très haut, et il reçoit du combustible pour plusieurs heures de fonctionnement; sa partie inférieure forme un sécheur très utile quand on traite des charbons humides ou des bois verts. Le foyer est suspendu par sa partie supérieure à l'intérieur de la cuve cylindrique en tôle; dans l'intervalle laissé libre entre sa garniture réfractaire et la paroi externe est placée la chaudière. L'air admis par le haut descend à travers la zone de feu et se relève en traversant ce couloir annulaire, pour gagner la sortie du gaz. Le cendrier, de grande capacité, recueille les cendres accumulées en marche. La grille est oscillante; la rotation d'un rouleau à griffes

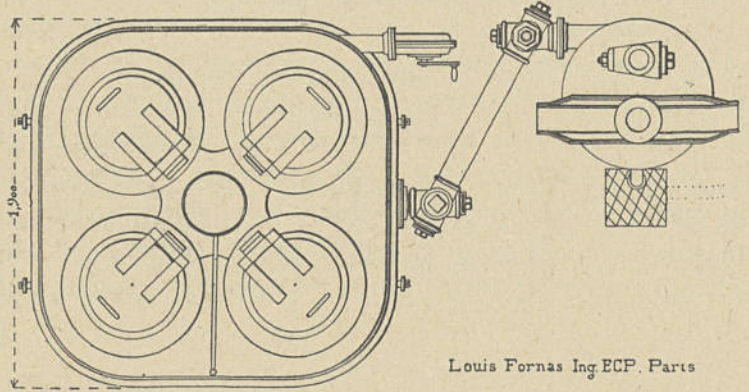




Elevation



Plan



Louis Fornas Ing. ECP. Paris

Fig. 156. — Gazogène Fornas.



la fait mouvoir et détache les scories qui pourraient y adhérer. Quelquefois la grille est fixe et formée simplement d'une plaque pleine.

Le laveur est constitué par un tube vertical, surmonté d'une trompe à eau, qui, d'une part, aspire les gaz et, d'autre part, les arrose d'eau : cet appareil suffit, dit-on, pour laver et épurer le gaz.

On remarquera, sur notre dessin, les dispositions des appareils subséquents à la cuve productrice des gaz; ceux-ci sont entraînés dans un tube vertical par une trompe à eau, qui les lave et les refroidit : elle est du reste utile à l'allumage. Viennent ensuite un réservoir sécheur et un antipulsateur, qui empêchent toute obstruction des conduites par les poussières.

M. Fornas, qui est un spécialiste averti, nous affirme qu'il ne se produit dans ses appareils, ni mâchefer, ni goudron. Il a réussi à fournir à la cuve 1.500 grammes de vapeur d'eau par kilogramme d'antracite, sans que le feu risque de s'éteindre.

\* \* \*

Aujourd'hui tout constructeur de moteur qui se respecte a son gazogène, et parmi les modèles successifs qu'il a adoptés, il y en a toujours un dans lequel le tirage est renversé. C'est dire que le nombre de ces appareils est très considérable, et que nos monographies sont fort incomplètes. Mais il faut savoir se limiter.

D'ailleurs, il y a des redites dans les inventions les plus originales. En somme, il n'existe que trois manières d'opérer du tirage renversé ou de la combustion renversée, ce qui est la même chose : 1° faire partir les gaz de la région rouge, où ils ne renferment pas de goudrons et où ils ne rencontrent plus de charbon frais; 2° aspirer les produits de distillation, formés à la partie haute de la cuve, et les ramener dans le feu; 3° intervertir entièrement le courant, faire entrer l'air par le haut et sortir les gaz par le bas; en un mot, renverser totalement le tirage.

Ces trois méthodes conduisent au résultat cherché qui est de transformer les goudrons, à condition, toutefois, que soit réalisée l'atmosphère oxydante indispensable à la réduction.

On possède donc trois manières de se débarrasser des goudrons : mais ce résultat a sa contre-partie. Il impose certains sacrifices. Que sacrifie-t-on?

Le renversement du tirage a pour conséquence d'encombrer de cendres la partie basse de la cuve; les gaz entraînent des cendres avec eux; les cendres se mêlent d'escarbilles et d'inbrûlés, qui n'ont plus reçu assez d'oxygène; ce sont des inconvénients assez sérieux qui viennent compenser les avantages que procure la réduction des goudrons par le tirage renversé. Il faut que le charbon donne beaucoup de goudron et que les moteurs en tolèrent bien peu pour que



le renversement soit vraiment favorable. Il ne fait rien gagner sur le rendement, au contraire; il simplifie l'épuration pour ce qui est des goudrons et la complique pour ce qui est des poussières; en d'autres termes, épuration chimique facilitée, épuration physique rendue plus nécessaire. L'opération est généralement bénéficiaire : mais elle l'est souvent moins que d'aucuns ne le pensent, ou ne le disent. Il m'a paru utile d'en faire la remarque.

#### IV

### GAZOGÈNES A RÉCUPÉRATION

On a longtemps fabriqué des gaz, dans les gazogènes, sans se préoccuper des sous-produits de leur fabrication : on les laissait perdre sans remords.

Il n'y avait du reste pas grands remords à avoir, attendu que les charbons maigres et secs, nécessités par une bonne marche des appareils habituels, ne donnent pas assez de produits ammoniacaux et de goudrons pour que cela vaille la peine de les recueillir.

Le docteur Mond s'avisa pourtant un jour qu'il y avait quelque chose à gagner, en marge de la gazéification.

Il poursuivit de longues et patientes recherches, depuis l'année 1879, en vue de faciliter l'emploi de charbons plus ou moins bitumineux, pris sous forme de menus, et d'en retirer des sous-produits rémunérateurs, permettant d'abaisser le prix de revient du gaz engendré.

Le projet était hérissé de difficultés, car on sait que les charbons plus ou moins gras distillent de grandes quantités de goudrons, qui obstruent les canalisations, empâtent les soupapes, empêchent l'allumage et finalement arrêtent les moteurs. D'ailleurs, les charbons de ce genre s'agglutinent et se collent, puis forment voûte dans la cuve du gazogène, sans qu'aucun ringard mécanique puisse empêcher cet effet; le passage à travers les couches de combustibles offre alors à l'air une résistance insurmontable, l'acide carbonique ne se réduit plus, et bientôt le feu s'éteint. Bref : on ne marchait bien qu'à l'anhracite ou au coke, parfaitement criblé, sans poussières, dont le prix élevé compensait trop souvent la faible consommation. Quant aux produits ammoniacaux, ils étaient décomposés par la température élevée régnant dans l'appareil.

Il n'y avait qu'une manière de résoudre le problème : c'était de marcher en allure très froide, et à maintenir la température strictement à ce qu'il fallait au feu pour ne pas s'éteindre. M. Mond le comprit tout de suite.

Il atteignit le but qu'il poursuivait en abaissant la température de la cuve par un afflux énorme de vapeur d'eau, laquelle est en quantité trop considérable pour pouvoir être dissociée à la traversée du charbon incandescent. L'excès



se condense à la sortie des gaz et restitue sa chaleur de vaporisation à l'air qui entre, dont la température est alors suffisante pour empêcher l'extinction du feu. Les gaz chargés de produits ammoniacaux sont reçus dans des appareils spéciaux d'absorption, qui permettent d'en recueillir les  $\frac{7}{10}$ . L'alimentation du combustible s'opère mécaniquement et des dispositions adroites sont prises pour faire tomber les cendres hors du foyer dans le cendrier; on charge d'ailleurs le charbon par grandes quantités, ce qui paraît paradoxal, mais l'inventeur prétend néanmoins obtenir un gaz de qualité très uniforme et de richesse suffisante pour être employé sans difficulté dans les moteurs (1).

Il semblerait dans ce système que l'objectif principal ne soit plus de fabriquer du gaz, mais de recueillir surtout les goudrons et les eaux ammoniacales, fournis par le traitement de charbons gras et bitumineux : le gaz deviendrait ainsi un sous-produit de l'opération. Celle-ci peut devenir extrêmement productive, étant donnée la grande valeur des hydrocarbures et des composés nitreux que l'on recueille en travaillant des houilles qui se prêtent mal à la combustion sur grille et qu'on ne paie pas cher, à cause de cela.

La gazéification avec récupération est devenue une industrie : celle-ci a pris naissance dans l'usine chimique de MM. Brunner, Mond and Co, à Northwich (Cheshire), où elle s'est grandement développée. Elle essaya ensuite de s'étendre : le succès ne la suivit point partout. C'est qu'en effet, il existe une infinité de qualités de charbons bitumineux et il y a aussi de nombreuses manières de les traiter. Pour réussir, il faut avoir le charbon et la manière.

Mais décrivons d'abord le procédé, avant de le discuter à fond.

### 1. Gazogène Mond.

Au point de vue strict de la production du gaz, cet appareil ne présente rien de bien particulier.

La cuve est cylindrique, en tôle de fer, revêtue intérieurement d'une chemise réfractaire; l'intervalle forme double paroi. Celle-ci est traversée par l'air et la vapeur, sous une forte pression d'au moins 30 centimètres d'eau; le mélange, déjà chauffé par un régénérateur antérieur, se surchauffe dans l'enveloppe et arrive donc très chaud à la grille. Celle-ci est formée de barreaux horizontaux, dessinant une surface conique; ils sont accrochés par leur partie supérieure à une couronne circulaire, et sont assez libres pour pouvoir être secoués sans difficulté. Les cendres tombent dans le cendrier, plein d'eau, constituant une fermeture hydraulique. Le charbon est chargé sous forme assez menue, par la

1. « The Mond Gas-producer Plant and its application », by H. Humphrey, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, tome CXXIX, 1897.



trémie; il remplit presque en totalité la cloche conique qui lui fait suite. Il y séjourne en subissant une première distillation; les vapeurs condensables se dirigent aussitôt vers la prise des gaz. Des dispositions sont prises pour prévenir les accrochages, la cuve est très large, cylindrique, et les regards *a* sont multipliés de manière à faciliter le travail du ringard.

Ces appareils présentent de très grandes dimensions.

Leur forme s'est plus ou moins modifiée avec le temps. On y retrouve l'idée première, à laquelle s'ajoutent quelques particularités intéressantes. Une grille *A*, complètement ouverte par le bas en *B*, laisse tomber les cendres dans la cuve en maçonnerie *C* pleine d'eau, formant joint hydraulique; des portes à fermeture instantanée *K* permettent la visite et le nettoyage de cette grille. La double enveloppe du tuyau de sortie des gaz *G* est démontable; le mélange est injecté dans la chambre *S*, avant de passer en *M*. En marche, on pique le feu par les regards *H* à fermeture automatique par des boulets sphériques (fig. 157).

Le charbon arrive par wagonnets sur une plate-forme supérieure et il est délivré à la cuve par une trémie.

La vapeur, dont ces gazogènes consomment une forte quantité, est fournie

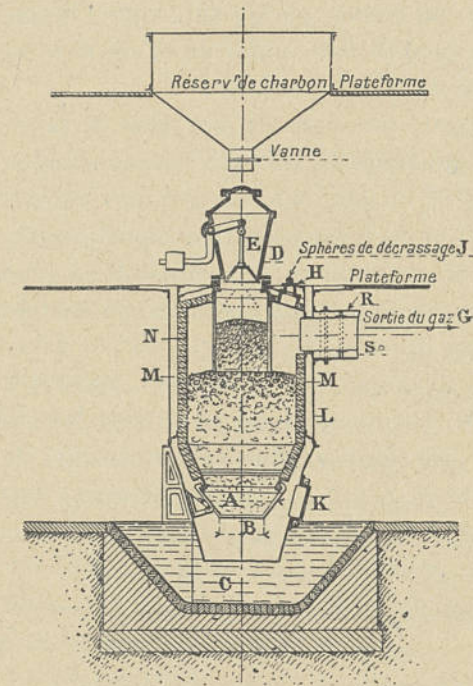


Fig. 157. — Gazogène Mond.

par les machines à vapeur de l'établissement qui marchent toutes à échappement libre; on ne peut dire qu'elle ne coûte rien, mais elle ne coûte pas cher. On arrive à user 2.500 kilogrammes de vapeur par tonne de houille; mais on en condense 1.500 kilogrammes dans les appareils de récupération.

Celle-ci s'effectue dans une suite importante de caisses, de colonnes, de tours qui forment une véritable usine : sans vouloir entrer dans trop de détails, disons seulement que les gaz sont reçus dans des régénérateurs à circulation méthodique (gas coolers and air heaters), des laveurs mécaniques à roues et à balais tournants (mechanical washers), des tours à injection d'eau acide et à chicanes (lead acid tower, cold water tower), qui arrêtent les hydrocarbures condensables et les produits ammoniacaux. On recueille près de 40 kilogrammes de ces derniers par tonne de houille.

A l'usine de Winnington, des moteurs Crossley sont alimentés par les gaz; malgré leur richesse en hydrogène, les moteurs s'en accommodent sans peine,



et l'on obtient finalement le kilowatt-heure par 992 grammes de charbon bitumineux.

M. Humphrey a publié, en 1895, des résultats d'essais faits avec une houille renfermant 68 de C, 7,5 de cendres, 7,5 d'eau hygroscopique et le reste, soit 17,2, de matières volatiles : son pouvoir supérieur était de 7.225 calories. Le gaz avait la composition que voici, en volume :

|                       |      |
|-----------------------|------|
| H <sup>2</sup> .....  | 26,4 |
| CO.....               | 10,2 |
| CH <sup>4</sup> ..... | 2,5  |
| CO <sup>2</sup> ..... | 16,3 |
| Az.....               | 44,6 |

Son pouvoir supérieur était de 1.320 calories au mètre cube. Comme 1 kilogramme de houille engendrait 2.430 litres de ce gaz, le rendement ressortait à 81 %, en ne tenant pas compte de la vapeur consommée et du travail dépensé.

Il faut peu de main-d'œuvre pour le service.

En vendant le sulfate d'ammoniaque au prix de 250 francs la tonne, une station du type Mond de la Compagnie Castner-Kellner, d'une puissance de 10.000 chevaux, obtenait le cheval-heure au taux de 2,6 centimes.

On peut recueillir 50 kilogrammes de sulfate par tonne de charbon.

Le gazogène Mond est devenu la propriété de la *Power Gas Corporation* : elle annonce dans ses prospectus que la puissance totale des appareils installés atteint 500.000 chevaux. Cet immense succès est dû à ce que cette Société s'est spécialisée dans le traitement de toutes sortes de combustibles, houilles grasses bitumineuses, tourbes, lignites, etc. : elle a obtenu généralement de remarquables résultats dans cette voie. Avec des tourbes anglaises renfermant 57,5 % d'humidité et 2,3 d'azote, on a pu fabriquer par tonne de produit sec, 2.550 mètres cubes de gaz à 1.200 calories et 97 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque.

Répétons toutefois que les procédés Mond doivent être maniés par des mains expertes, pour donner tout ce que l'on est en droit d'attendre d'eux.

## 2. Gazogène Duff.

MM. Duff ont exploité la même veine que le docteur Mond, en employant des procédés qui ne diffèrent guère de ceux de son prédécesseur.

Je signalerai seulement que, dans ce gazogène, on ramène une fraction des gaz sous la grille, qui affecte la forme d'un dos d'âne et débite l'air dans l'axe de la cuve. On réalise une grande puissance de gazéification dans ces appareils, qui présentent généralement de vastes dimensions.

MM. Duff Brothers ont fait de grandes installations en divers pays, avec



grand succès. Avec des bitumineux anglais, à 14 % de cendres, ils obtiennent du gaz à 1.270 calories (pouvoir inférieur) et 40 kilogs de sulfate d'ammoniaque par tonne.

V

## GAZOGÈNES SPÉCIAUX

Je range dans cette catégorie les appareils destinés à l'emploi des succédanés de la houille : ils sont nombreux et souvent remarquables (1).

C'est qu'en effet un des mérites du gazogène, et ce n'est pas le moindre, est de s'accommoder des combustibles les plus divers, quelquefois les plus pauvres et les plus ingrats, presque inutilisables dans les foyers des chaudières, et de se prêter à leur gazéification sans grandes modifications dans ses formes et dans sa constitution.

On a pu utiliser avantageusement toute espèce de végétaux, des feuilles sèches et des sarments de vigne, des restes de fabrication, copeaux et sciures, bagasses, tannée, grignons d'olives, marc de raisins, etc., même des gadoues : les gaz obtenus ont les qualités requises pour l'alimentation des moteurs, sous réserve d'une épuration suffisante. Les gazogènes employés pour le traitement de ces matières doivent évidemment être étudiés en vue de ces diverses applications, mais leur adaptation n'exige généralement aucune disposition qui diffère notablement de celles que nous avons déjà décrites.

La gazéification des lignites et des tourbes présente en particulier des avantages que l'on commence seulement à apprécier à leur juste valeur.

On est en voie de réaliser par le gazogène ce qu'on a appelé l'électrification des tourbières, c'est-à-dire l'installation de centrales électriques au milieu d'un champ de tourbe; on rendrait ainsi à l'agriculture en peu d'années un sol marécageux, et l'on assainirait les régions environnantes. Ce sera un nouveau bienfait du gazogène et du moteur à gaz.

Sans vouloir entrer ici dans des détails, qui trouveront leur place dans le chapitre des Applications des moteurs, nous nous contenterons de dire qu'une grande centrale montée à Osnabrück, sur une tourbière, gazéifie par vingt-quatre heures 210 tonnes de tourbe séchée à l'air; on actionne par les gaz trois moteurs d'une puissance totale de 3.500 chevaux et l'on distribue le courant dans un rayon de 40 kilomètres. A Orentano, en Italie, une autre centrale

1. J'ai déjà été amené à décrire ci-dessus quelques-uns de ces gazogènes, en faisant la monographie des appareils multiples construits par quelques firmes importantes : la plupart d'entre elles ont en effet apporté à leurs appareils les modifications nécessaires pour se prêter au traitement des combustibles les plus variés.



travaille journellement 100 tonnes. Une filature de Moscou alimentait ainsi un moteur de 300 chevaux.

En Allemagne, d'importantes installations avaient été faites déjà avant la guerre, et elles ont reçu depuis lors de grands développements.

Obligés de nous limiter, nous donnerons la monographie de quelques appareils seulement, en déclarant toutefois que la plupart des systèmes de gazofacteurs ont pu être employés au travail des combustibles inférieurs et que, par le fait, presque tous les constructeurs ont mis cette importante question dans leur programme. Pour le moment, c'est au tirage renversé et à la mécanisation des décrassages que l'on a recouru le plus généralement.

### 1. Gazogène de la Société de matériel agricole de Vierzon, pour bois.

Entrant dans la voie ouverte par M. Riché, cette société a créé un appareil spécialement destiné à utiliser les déchets des exploitations forestières et rurales.

Ce gazogène, à tirage renversé, est qualifié d'auto-réducteur, propriété qu'il partage avec d'autres; mais il présente d'autre part des dispositions que l'on pourrait dire personnelles et qui sont assez nouvelles.

L'air aspiré arrive par le haut de l'appareil, pour traverser, avec les hydrocarbures qu'il entraîne, la zone d'incandescence; dans le but de conserver à celle-ci une température élevée, l'air admis par aspiration circule autour de la cuve et se réchauffe; de plus, une série de prises d'air sont disposées en couronne autour de la cuve et elles permettent d'introduire dans le foyer des quantités d'air surnuméraire, réglables à volonté, de manière à obtenir l'atmosphère oxydante nécessaire aux réactions. Enfin, la cuve est surmontée d'une cheminée qu'on peut laisser ouverte en fonctionnement. Cette cheminée est excentrée. C'est qu'en effet ce gazogène est destiné à traiter des bois verts extrêmement humides, qui dégagent tant de vapeur qu'il y en aurait un excès, si on n'en laissait échapper une partie; mais en montant dans la cheminée, cette vapeur se condense et retombe dans la cuve; il faut l'empêcher. On obtient précisément ce résultat par l'excentration qui permet de rejeter l'eau hors de la cuve.

J'ai été appelé, en 1914, à faire des essais sur ce gazogène qu'on a alimenté de déchets et de copeaux de chêne, de hêtre, d'orme, de sapin plus ou moins fraîchement coupé; les gaz actionnaient un moteur de 100 chevaux.

Mes expériences ont donné les excellents résultats ci-dessous :

| Teneur<br>du bois<br>en<br>humidité. | Composition pour cent<br>du gaz en volume. |    |                 | Pouvoir<br>supérieur<br>du<br>gaz. | Consommation<br>de bois<br>par cheval-heure<br>effectif. |
|--------------------------------------|--|----|-----------------|------------------------------------|--|
|                                      | H <sup>2</sup>                             | CO | CH <sup>4</sup> |                                    |  |
| 14,8 %                               | 17   | 20 | 2               | 1.336 cal.                         | 775 grammes.   |
| 41,6                                 | 16   | 14 | 1,6             | 1.179 —                            | 1.463 —  |



L'introduction d'une charge de bois mouillé faisait baisser momentanément le pouvoir du gaz, mais il se rétablissait rapidement, sans troubler la marche du moteur.

## 2. Gazogène Otto, pour lignite et tourbe.

La maison Otto de Deutz, près de Cologne, placée au centre de l'important gisement de lignite brun (*Braunkohle*) de la province rhénane, a été amenée à créer un modèle spécial, destiné au traitement de ce combustible; elle y a remporté de remarquables succès.

Son gazogène est aussi à double tirage et, si j'en crois un dessin que j'ai sous les yeux, il serait même à double combustion, attendu qu'on a indiqué deux foyers d'ignition, l'un au-dessus de la prise de gaz et l'autre en dessous, contre la grille. La teneur en eau permet de croire qu'il se forme, en haut et en bas, du gaz Dowson, et pas du tout de gaz Siemens.

La capacité de la chambre à combustible de l'appareil dépend de la nature du lignite employé. Un décimètre cube de lignite pesant 800 grammes, on en compte 7 par cheval de puissance du moteur à desservir. La consommation de lignite est moyennement de 1.335 grammes par cheval-heure, pour du lignite à 3.000 calories.

Le gazogène Otto a permis aussi de traiter des tourbes et voici les résultats qu'on a indiqués.

| PROVENANCE             | COMPOSITION DES TOURBES |                |        |      |                  |         | POUVOIR CALORIFIQUE de la tourbe. | GAZ ENGENDRÉ par kilog. | POUVOIR DU GAZ |
|------------------------|-------------------------|----------------|--------|------|------------------|---------|-----------------------------------|-------------------------|----------------|
|                        | C                       | H <sup>2</sup> | Az + O | S    | H <sup>2</sup> O | Cendres |                                   |                         |                |
| Tourbe de Hanovre..... | 41,46                   | 3,88           | 18,85  | 0,25 | 32,3             | 3,26    | 3.596                             | 1,86                    | 1.429          |
| — Gengen.....          | 30,3                    | 2,71           | 17,63  | 0,16 | 44,42            | 4,78    | 2.392                             | 1,32                    | 1.350          |

Suivant les errements des ingénieurs allemands, ce sont les pouvoirs inférieurs qu'on donne pour les tourbes et les gaz.

Pour l'épuration, on recourt fréquemment au système des deux ventilateurs en série, sur lequel nous avons déjà donné notre appréciation. Contentons-nous de dire en cette place qu'avec deux ventilateurs avec injection d'eau sur le tuyau d'appel, il ne faut plus ni scrubber, ni épurateurs à sciure. Les goudrons fouettés par les ailes des ventilateurs et incorporés à l'eau, s'écoulent avec celle-ci dans un bassin de décantation et se déposent au fond. Le ventilateur de queue donne une eau beaucoup plus claire, qu'il y a intérêt à séparer de celle qui vient du ventilateur de tête.

Par 100 kilogrammes de tourbe, on développe habituellement en moteurs 60 chevaux-heures.



### 3. Gazogène Winterthur pour tourbe.

Dans le but de mieux adapter ses gazogènes au service de la tourbe, la Société de Winterthur a modifié leurs dimensions et leurs formes.

Ainsi le volume du magasin à combustible a été augmenté en même temps que la hauteur de la couche a été élevée; le vaporisateur était aussi mieux adapté à sa fonction qui est diminuée. On s'est efforcé d'utiliser la chaleur des gaz pour le séchage de la tourbe, qui contient encore 25 % d'eau, même quand elle est sèche d'apparence.

La sole est tournante (fig. 158); le foyer est entouré par une enveloppe d'eau; mais comme la tourbe renferme généralement beaucoup d'humidité, la vapeur formée n'est d'ordinaire pas dirigée vers la cuve.

On adjoint souvent au générateur de gaz un extracteur centrifuge à injection d'eau, un scrubber à coke et un filtre sécheur, pour assurer une bonne épuration du gaz.

La figure 159 montre l'appareil Winterthur en vue extérieure.

Les essais effectués sur ce gazogène ont donné des résultats très satisfaisants.

En se servant de tourbe fibreuse, façonnée en briquettes de 15/10/8 centimètres, renfermant 50 % d'eau et 3 % de cendres, on a obtenu un gaz dont la composition à l'analyse est comprise entre les limites ci-dessous :

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| H <sup>2</sup> .....  | 6,5 à 8 % |
| CO.....               | 20 à 21   |
| CH <sup>4</sup> ..... | 3,4 à 4,5 |
| CO <sup>2</sup> ..... | 7,8 à 8,5 |

Le pouvoir calorifique inférieur de ce gaz oscille entre 1.050 et 1.080 calories.

Les données relatives à un lignite schisteux de Moerschwil ne présentent pas moins d'intérêt. Pour une teneur de 29 % d'humidité et de 14,3 de cendres, son pouvoir inférieur est de 2.794 calories : il renferme 69,3 % de matières volatiles, proportion en sec.

Le gaz produit était assez riche.

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| H <sup>2</sup> .....                | 18,1 |
| CO.....                             | 21,2 |
| CH <sup>4</sup> .....               | 2,0  |
| C <sup>2</sup> H <sup>4</sup> ..... | 0,3  |
| CO <sup>2</sup> .....               | 5,8  |

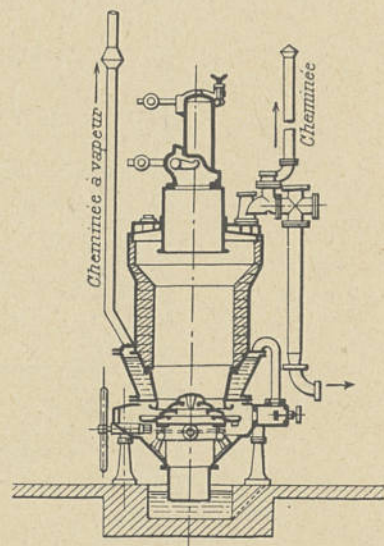


Fig. 158. — Gazogène Winterthur.



Son pouvoir au calorimètre Junkers a été trouvé de 1.285 calories.

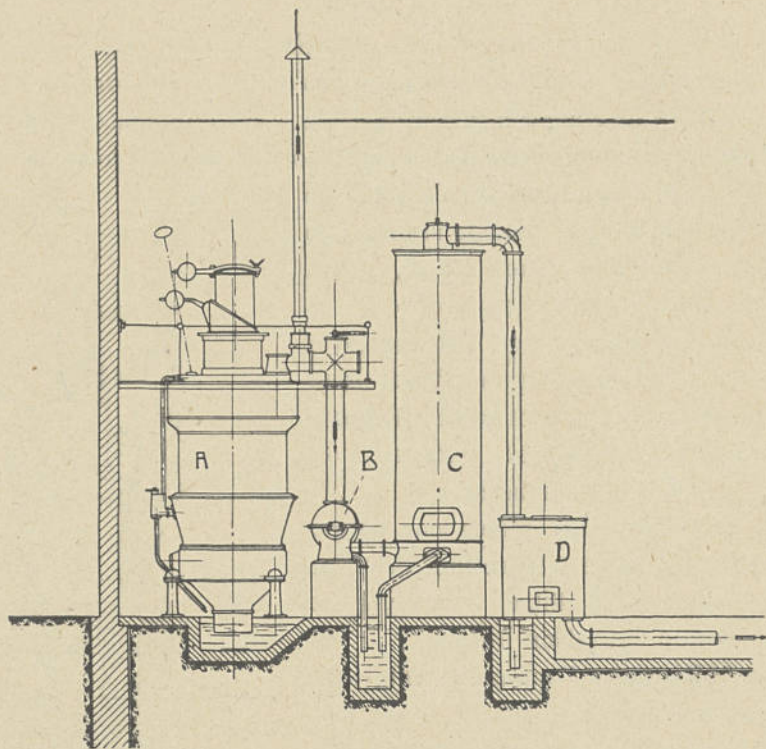


Fig. 159. — Vue extérieure du gazogène Winterthur à tourbe.

On prétend avoir constaté des rendements de 76 % qui ont pu atteindre, dans certains cas plus favorables, une valeur de 90 %.

#### 4. Gazogène Crossley à déchets.

La maison Crossley a nouvellement fait breveter un nouveau type de gazogène, spécialement conçu en vue d'utiliser des déchets de toute nature : le prospectus signale les résidus de tan, les déchets de fibres de coco, les gousses de café, de cacao et de riz, les rebuts de thé, les suies de locomotives, etc. Mention est faite d'expériences dans lesquelles on a consommé par cheval-heure effectif de 700 à 1.200 grammes de ces suies, ou 900 grammes de déchets d'olives ; ce sont des résultats très intéressants.

Ce gazogène se distingue par une grille à circulation d'eau de son foyer à gradins et par une trémie de chargement hermétique que nous avons déjà mentionnée ; on lui adjoint un séparateur de goudron d'une remarquable efficacité.



### 5. Gazogène Cerasoli.

Ce gazéificateur de tourbe a été installé à côté de gazogènes Mond, à l'usine d'Orentano, que nous avons déjà signalée ci-dessus, gérée par la *Società per l'Utilizzazione dei Combustibili italiani*.

Notre figure 160 donne une coupe verticale de l'appareil Cerasoli. Il se compose d'une cuve cylindrique divisée intérieurement en trois compartiments par deux cloisons verticales. La première va du sommet de la cuve jusqu'au voisinage des grilles; l'autre descend beaucoup moins bas. Elles reposent sur des arches cintrées.

L'air est admis par les grilles sur un tiers de la circonférence, les deux autres tiers étant clos. Il en résulte que la combustion s'effectue plus rapidement dans le premier compartiment A; les flèches marquées sur le dessin permettent de suivre le chemin de l'air et des gaz à travers la masse du combustible.

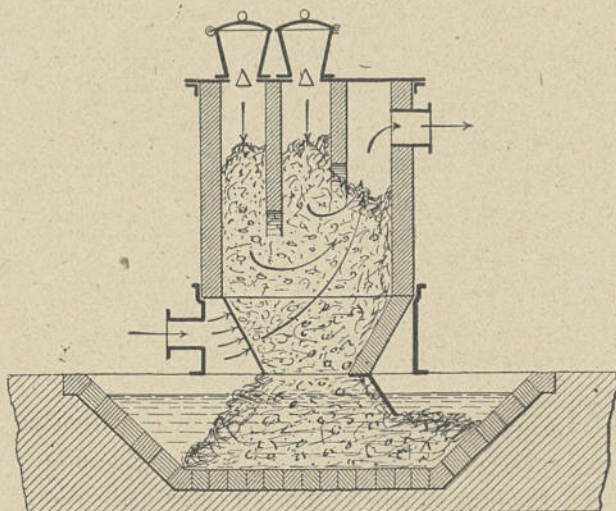


Fig. 160. — Gazogène Cerasoli.

L'admission d'air est réglée de façon à ce que la combustion effectuée dans le compartiment A porte sur la majeure partie de la tourbe; les combinaisons développées dans le compartiment B sont beaucoup moins importantes, mais elles donnent lieu à un abondant dégagement des matières volatiles et goudroneuses, qui sont obligées de traverser un lit de charbon incandescent avant d'atteindre l'orifice de sortie. L'humidité que la tourbe renferme donne une notable proportion de vapeur d'eau, qui contribue à enrichir le gaz en hydrogène et en oxyde de carbone.

Les cendres sont évacuées par le joint hydraulique formé par la cuve à eau, dans laquelle s'écroulent les déchets de la combustion : on les en tire sans difficulté. De nombreux regards et orifices sont percés dans la paroi de la cuve, pour observer la marche du feu et permettre l'introduction du ringard.

La chaleur des gaz produits dans le gazogène est utilisée, ainsi que celle des gaz de la décharge des moteurs, pour dessécher la tourbe, qui renferme au moins 35 % d'eau.

Les gaz, chargés de vapeur d'eau, de goudrons et de produits ammonia-



caux, débouchent dans un collecteur qui retient les poussières et commence les condensations; ils vont ensuite à une tour, traversée par une pluie d'acide sulfurique; viennent ensuite des scrubbers à eau froide. L'eau chaude, recueillie dans le bas, est reprise par une pompe et déversée au sommet d'une colonne parcourue de bas en haut par un courant d'air, qui, réchauffé, sera soufflé sous la grille du gazogène.

La puissance des moteurs, alimentés de ces gaz, atteint près de 400 chevaux; elle est employée à la commande d'un alternateur. Le gaz, qui renferme 24,0 % d'hydrogène, 9,5 d'oxyde de carbone et 3,5 de méthane, possède un pouvoir supérieur de 1.380 calories. On recueille 1.259 mètres cubes par tonne de tourbe à 35,5 d'humidité; une partie est consommée pour le séchage de la matière et la production de la vapeur, le reste allant aux moteurs, soit 461 mètres cubes. On dispose journallement de 20.795 mètres cubes pour la génération de l'énergie motrice. Une statistique portant sur une année entière a fait ressortir le prix de revient du kilowatt-heure à 7,5 centimes, en comptant sur 14 % d'intérêts, d'amortissement et de dépréciation (1).

\* \* \*

La gazéification des tourbes et des lignites a pris un grand développement en Amérique, et particulièrement au Canada. Nombreux sont les constructeurs qui s'appliquent aujourd'hui à cette utilisation d'un produit trop négligé jusqu'à ce jour; les résultats qu'on est en droit d'espérer marqueront un des plus remarquables succès des gazogènes et des moteurs, c'est pourquoi nous avons insisté dès maintenant sur cette importante question, sur laquelle nous aurons du reste l'occasion de revenir.

La station centrale de Bitterfeld, sur le Rhin, fait emploi de lignite, et l'on y produit par tonne 1.900 mètres cubes de gaz à 1.200 calories, en recueillant des sous-produits dont la valeur est égale à celle de la matière traitée, de telle sorte que l'on est arrivé à engendrer le kilowatt-heure au prix remarquable d'un centime et quart. La principale difficulté rencontrée dans ces exploitations tient à la nature des goudrons, appartenant surtout à la série grasse, difficiles à condenser et à séparer. Lencauchez avait signalé dès le début cette infériorité spécifique des lignites, pour lesquels s'impose l'installation d'usines complètes de récupération, du genre Mond et Duff.

1. *Revue générale de l'électricité*, « La tourbe et l'industrie électrique, » par M. Gien, 30 nov. 1918.



## CHAPITRE XI

---

### APPAREILS D'ÉPURATION

---

Les gaz destinés à l'alimentation des moteurs exigent une épuration parfaite, sur la nécessité de laquelle il est inutile d'insister.

Les dessins qui représentent les appareils accessoires de la gazéification sont par eux-mêmes assez explicites pour nous dispenser d'un long commentaire. Nous nous contenterons donc d'en donner une description sommaire (1).

Les gaz sortent de la cuve à une température qui varie beaucoup avec l'allure du fonctionnement, mais qu'on peut estimer généralement à 1000° environ. La première des choses à faire est de les refroidir : on récupère d'ordinaire les calories qu'on leur enlève en les employant à réchauffer l'air, à produire de la vapeur et à surchauffer celle-ci. Le refroidissement des gaz est accompagné d'une condensation de la vapeur d'eau et des goudrons entraînés par eux.

On a longtemps fait usage des tuyaux d'orgue, usités dans l'industrie gazière; ce sont des tuyaux en fonte, de section réduite, réunis par des T et parcourus alternativement de bas en haut et de haut en bas; les produits de condensation s'accumulent dans une cuve inférieure coupée par des cloisons. Ces tuyaux sont rarement montés en série; mieux vaut de les grouper par 3 ou par 4. On les surmonte quelquefois d'une caisse d'eau, permettant de les nettoyer par des chasses d'eau quand ils s'engorgent. Dans les pays chauds, on réfrigère le jeu d'orgue en faisant couler de l'eau sur sa surface extérieure.

On substitue souvent ou l'on adjoint à cet appareil la colonne classique à coke, arrosée par le haut et recevant les gaz par la partie inférieure. Le coke métallurgique, seul utilisable, est concassé en fragments, soigneusement dépoussiérés; les plus gros morceaux occupent le bas de la colonne et l'on finit en haut par du grésillon. Quelques constructeurs séparent le scrubber en plusieurs étages par des cloisons horizontales à jour ou des claies. Le dernier étage ne reçoit alors pas d'eau, et on le remplit de fibre de bois. Les gaz s'échappent par une ouverture pratiquée à la partie supérieure de la colonne. MM. Fichet et Heurtey les font redescendre par un tuyau central. MM. Pierson et R. Chevalet ont

1. Voir ce qui a déjà été dit ci-dessus de la meilleure épuration, Tome I, page 246. On nous pardonnera de revenir sur quelques points auxquels nous attachons une importance particulière, à cause de leur caractère essentiellement pratique.



substitué au coke des plateaux laveurs, qui divisent la veine gazeuse et forment un grand nombre de jets, d'une grande efficacité, dit-on; il paraît que cette disposition exige beaucoup moins d'eau; le dernier plateau reste sec. La colonne Pierson est composée de viroles superposées, en fonte, d'une surveillance aisée et offrant de grandes facilités de nettoyage et de démontage.

Il y aurait de réels inconvénients à envoyer au moteur un gaz trop humide : il convient donc de le sécher; en même temps on le débarrasse des poussières qui l'accompagnent. Une simple enceinte à chicanes remplit cet objet. MM. Fétu et Defize, de Liège, constituent les chicanes par des palettes en fer, qui glissent dans des rainures et sont par conséquent amovibles.

Les appareils qui précèdent ne suffisent encore pas dans la majorité des cas pour arrêter les goudrons, dont il suffit de quelques centigrammes par mètre cube pour souiller un gaz et nuire au bon fonctionnement des moteurs. Lencauchez avait étudié la question à fond, et il a fait, en maintes circonstances, le récit des déboires que lui ont causé ces produits « vésiculaires vagabonds ». Une épuration soignée s'impose, dès que le charbon employé renferme plus de 7 à 8 % de matières volatiles.

Nous avons déjà fait ci-dessus une distinction justifiée entre l'épuration physique et chimique.

La première s'obtient en faisant détendre les gaz dans une chambre spacieuse, où le courant perd de la vitesse, change de sens, rétrograde et dépose ses poussières lourdes. Plus souvent on impose aux gaz de subir un véritable filtrage, en passant par les interstices d'une matière poreuse, granuleuse ou floconneuse; une condensation coopère avec l'action du filtre. Les Allemands ont fait quelque réclame en faveur d'un procédé Ruppert, autrefois essayé, puis abandonné, dans lequel on recourait à des sacs, maintenus à haute température et incessamment secoués. Il est aisé d'imaginer des dispositifs d'épuration plus ou moins nouveaux; il est plus difficile de réaliser des procédés efficaces.

Les épurateurs à sciure de bois, à mousse, à fibre ou laine de bois, etc., sont les plus répandus : il importe surtout que la matière ne se tasse pas au point d'opposer une grande résistance au passage des gaz. On fait d'habitude ces épurateurs à plusieurs étages, pour diminuer l'épaisseur des couches. Il importe de faciliter la visite des appareils et le renouvellement des substances absorbantes.

L'épuration chimique est toujours à conseiller. Il s'agit d'arrêter l'ammoniacque et les acides sulfhydrique, cyanhydrique, sulfocyanique, etc. La sciure de bois humide retient déjà l'ammoniacque qui a pu échapper au lavage. On mêle aussi la sciure d'oxyde ferrique, de chaux et de sulfate de calcium; ce mélange se prépare en précipitant une solution de sulfate ferreux par un excès de chaux éteinte et en exposant le tout à l'air. L'acide sulfhydrique donne de l'eau et du sulfate de fer; les autres acides, du ferrocyanure ferreux. Au bout de quelque temps, ce mélange cesse d'agir; on le revivifie alors en l'étalant



sur une aire plane et on le remue au contact de l'air, qui oxyde le sulfure de fer et transforme le ferrocyanure ferreux en ferrique. La substance devient de plus en plus bleue; quand elle a pris franchement la couleur du bleu de Prusse, on la vend à des spécialistes, qui en extraient des cyanures.

La matière Laming ne diffère guère du mélange que nous venons de dire : elle a l'avantage de se trouver dans le commerce.

Pour donner une idée de l'importance qu'il convient de donner à tous ces appareils laveurs et épurateurs, j'emprunte au livre de Hæder les chiffres ci-dessous, qui indiquent les dimensions à conseiller pour gazéifier *n* kilogrammes de charbon par heure (1).

| GAZÉIFICATION<br>DE CHARBON<br>par heure | SCRUBBER |         |                             | ÉPURATEUR A TROIS CLAIES |         |         |
|--|----------|---------|-----------------------------|--------------------------|---------|---------|
|  | Diamètre | Hauteur | Diamètre du<br>tuyau de gaz | Longueur                 | Largeur | Hauteur |
| kg.                                      | m/m      | m/m     | m/m                         | m/m                      | m/m     | m/m     |
| 5,7                                      | 500      | 1.670   | 60                          | 800                      | 375     | 450     |
| 9,2                                      | 550      | 1.730   | 80                          | 900                      | 400     | 500     |
| 15                                       | 650      | 2.180   | 90                          | 1.050                    | 500     | 600     |
| 21                                       | 700      | 2.230   | 125                         | 1.250                    | 550     | 700     |
| 36                                       | 850      | 2.600   | 150                         | 1.525                    | 700     | 800     |
| 50                                       | 900      | 2.900   | 175                         | 1.625                    | 800     | 850     |
| 67                                       | 970      | 3.200   | 200                         | 1.750                    | 875     | 900     |
| 99                                       | 1.100    | 3.600   | 250                         | 2.000                    | 900     | 1.000   |

L'épuration mécanique est un nouveau mode, d'une efficacité étonnante, à laquelle on recourt beaucoup aujourd'hui, et avec raison. En effet, pour arrêter les vésicules de goudron, il faut les rompre par des chocs répétés et énergiques. Les appareils Pelouze-Auduin, depuis longtemps en service dans les usines à gaz de ville, opéraient déjà par friction : le gaz rencontre les parois, normales à sa direction, dont les ouvertures ne se correspondent pas, et qui dévient constamment les veines gazeuses de leur chemin. Lencauchez inventa un appareil basé sur le même principe, dont la plus grande complication n'était pas rachetée par des résultats bien meilleurs.

Puis, on découvrit l'action des ventilateurs à injection d'eau par les ouïes. Tout le monde se jeta alors dans cette voie, et l'on inventa toute espèce d'appareils rotatifs, en cherchant surtout à réduire la dépense de travail. Letombe imagina un appareil centrifuge, qu'il n'était pas nécessaire de faire tourner à grande vitesse. Dans une caisse cylindrique verticale tourne un moulinet à quatre ailettes; son axe traverse une douille du couvercle et repose sur une crapaudine; les gaz entrent dans la caisse par le bas et s'échappent par le haut de l'appareil; un jet d'eau arrose constamment le moulinet et retombe dans un bassin inférieur. Cet épurateur est peu coûteux et il a rendu service.

1. HÆDER, *Les moteurs à gaz*, traduction Varinois, tome II, page 233.



La maison Crossley a établi un épurateur centrifuge plus agissant, mais de construction plus compliquée. C'est un ventilateur d'une forme particulière. Le liquide est projeté contre les parois internes du stator et recueilli dans une rigole périphérique, qui les évacue dans un collecteur. Tel est encore le ventilateur Saltar, qui en appelle toutefois d'un principe différent, attendu qu'il n'y a plus de stator; l'enveloppe tourne elle-même et la vitesse de giration sépare les poussières solides et liquides plus denses et les porte à la périphérie. Cet appareil peut même fonctionner à sec, dit-on, ce qui démontre tout au moins qu'il exige peu d'eau.

Les modes de lavage et d'épuration, que nous venons de signaler ont trouvé un vaste champ d'application dans les cokeries, où les gaz de distillation sont traités en vue de la récupération des goudrons et des produits ammoniacaux, avant d'être conduits aux moteurs. J'ai déjà dit ci-dessus comment on a été amené à construire, dans ce but multiple, de véritables usines, dans lesquelles on est arrivé à traiter quelques 100.000 mètres cubes de gaz par vingt-quatre heures. Dans ce domaine, c'est de l'Est que nous est venue la lumière : les appareils Zschocke et Theisen étaient achetés en Allemagne, avant la guerre, et aucun constructeur français n'osait lutter contre cette formidable concurrence, armée de toutes pièces et documentée par une pratique prolongée. Dans l'industrie sidérurgique, d'immenses installations d'épuration des gaz de hauts fourneaux ont été faites sur des types venus d'outre-Rhin, pour l'alimentation des puissants moteurs en usage aujourd'hui.

Dans ce domaine, les difficultés du problème à résoudre ne viennent plus des goudrons, mais des poussières. Celles-ci sont de masses extrêmement différentes, les unes assez lourdes pour être arrêtées aisément; les autres, au contraire, extrêmement ténues constituant une sorte de sublimé qui traverse tous les obstacles et les filtres accumulés sur sa route. Ce sublimé ne se laisse pas mouiller; on a dit que l'eau coule dessus comme sur les plumes des oiseaux aquatiques, et l'image est exacte. Il faut le broyer dans l'eau tiède pour arriver à l'émulsionner : c'est ce que fait très bien le ventilateur-laveur, sous n'importe quelle forme. L'eau est injectée dans les œillards par deux jets, au taux de 2 litres par mètre cube de gaz; souvent on monte deux ventilateurs à la suite en série; ils remplissent le double office de purificateurs et d'exhausteurs. Il faut donner à ces appareils une énorme vitesse angulaire et développer environ 80 mètres à leur périphérie. La puissance absorbée n'atteint pas 100 chevaux dans une installation qui fournit 7.000 chevaux par ses moteurs : cela fait environ du 1,5 %.

Lencauchez a démontré par d'intéressants calculs que, pour un groupe de sept fourneaux, produisant chacun 100 tonnes de fonte par vingt-quatre heures, consommant environ 840 tonnes de coke, on engendre près de 4 millions de mètres cubes (à 0° et 760 millimètres), exigeant 8.640 mètres cubes d'eau de lavage.



Les poussières sublimées donnent une eau onctueuse et mousseuse, dont la clarification est extrêmement ingrate. Leur propriété colmatante ne permet pas de les filtrer; force est de recourir à une décantation graduelle et méthodique dans une série de bassins. L'eau à décanter arrive par le centre et s'échappe à la circonférence, avec une vitesse qui doit être très faible. Si l'on admet que les turbines laveuses reçoivent 3 grammes de fines poussières impalpables par mètre cube, la quantité de boues à décanter par journée de vingt-quatre heures sera de 12 tonnes et chaque mètre cube d'eau entraînera 1.200 grammes de boues. L'eau est recueillie dans six bassins, dont cinq toujours en service, le sixième en nettoyage; ils servent non seulement de décanteurs, mais encore de réfrigérants. La surface totale d'évaporation est d'environ 3.500 mètres carrés. Les bassins sont installés en cascade; l'eau se clarifie progressivement en passant de l'un à l'autre. Le premier bassin étant à moitié plein de vase, on le met hors de service, et le deuxième devient le premier. Le bassin en vidange est débarrassé de son eau et on le vide au moyen d'une drague, qui déverse le solide dans des wagonnets qui le conduisent à un dépôt général, où il s'accumule rapidement. Comme le sublimé renferme jusqu'à 6 % de sels de soude et de potasse, on pourrait retirer des eaux par concentration, 600 kilogrammes de salin, dont la vente laisserait un bénéfice sérieux, après déduction de tous les frais : Lencauchez l'évaluait à 45.000 francs par an dans les conditions susdites.

La figure 161, qui donne le plan des bassins de décantation, installés aux aciéries de Longwy, sous la haute direction de M. l'ingénieur Friche, permet de se faire une idée de l'importance que prend le service des eaux dans nos établissements sidérurgiques de l'Est. On suivra sans difficulté, sur notre dessin, le chemin des gaz, de l'eau froide et chaude et de celle qui vient de l'épuration, grâce aux hachures diversement inclinées faites sur les canalisations.

L'extraction des boues accumulées dans ces bassins présente des difficultés que l'on évite en employant la disposition Neustadt adoptée par la Société Alsacienne dans ses grandes installations. L'eau à épurer traverse lentement de longues cuves en maçonnerie, dont le fond est formé par des plans inclinés, aboutissant à un caniveau étroit, dans lequel les matières solides se déposent. Lorsqu'on juge que ce caniveau est plein, on le recouvre d'une sorte de couvercle, qui l'isole du reste; on ouvre alors une vanne, qui laisse couler les boues dans un réservoir placé en contrebas, tandis qu'on fait arriver par l'autre extrémité l'eau du bassin; celle-ci provoque une chasse énergique. Pour éviter que la boue ne revienne au bassin, le courant entraîne un tampon mobile qui nettoie le caniveau; on le ramène en amont à l'aide d'une chaîne, enroulée sur un treuil. Les boues du réservoir sont assez fluides pour qu'on puisse les refouler vers un crassier, par une pression d'air comprimé. L'appareil Neustadt supprime toute main-d'œuvre d'ébouage.

On écrirait un livre sur les usines d'épuration des gaz de hauts fourneaux



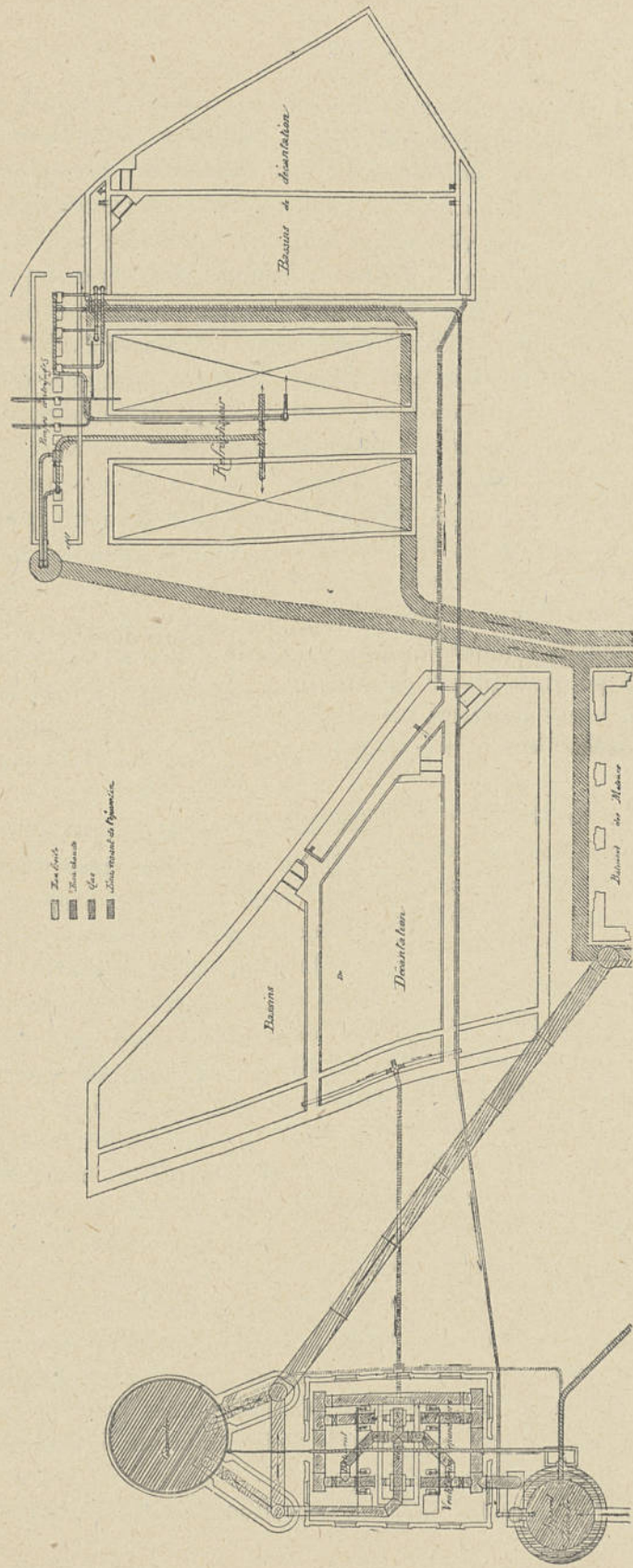


Fig. 161. — Service des eaux aux aciéries de Longwy.



de nos grands établissements sidérurgiques : obligé de nous borner, nous décrivons seulement avec détail l'appareil Theisen, tel qu'il est construit par la Société Alsacienne. D'après les renseignements que nous a fournis cette importante maison, les *désintégrateurs* centrifuges Theisen (c'est leur nom), en service, dépassent déjà le nombre de 600, et quelques-uns d'entre eux travaillent 30.000 mètres cubes de gaz à l'heure : je dis trente mille !

Les gaz arrivent au désintégrateur après un premier passage dans un refroidisseur à injection d'eau, qui a abaissé leur température au voisinage de 40°, et leur teneur en poussière à 2 à 3 grammes par mètre cube. Le courant gazeux est amené au centre de l'appareil par les têtes d'entrée A (fig. 162), alors que l'eau de lavage est injectée en B et qu'elle est conduite dans l'axe du tambour perforé C, tournant à grande vitesse et muni d'ailettes circulaires. Celles-ci projettent le liquide en lames, que le gaz est forcé de franchir. Cette eau, finement divisée et pulvérisée, est ensuite brassée vigoureusement avec les gaz, à leur passage à travers une série de tambours mobiles, séparés par des tambours fixes D. Ceux-ci en nombre variable selon la nature du gaz et le degré d'épuration exigé, sont en fers ronds ou plats, ou en cornières. Le jeu entre les tambours est faible et leur vitesse périphérique considérable, de sorte que toutes les particules poussiéreuses sont infailliblement jetées, par un choc violent, contre une paroi mouillée. Ce mélange intime de gaz et de liquide est repris, à la sortie des tambours, par les ailettes E et lancé contre la paroi du stator, ce qui réalise une première élimination de l'eau boueuse et un essorage sommaire des gaz ; la boue s'écoule par la gouttière circulaire F et le tuyau G. C'est alors que le gaz entre dans le ventilateur proprement dit H, qui le met sous pression. Un deuxième essorage est obtenu par le heurt contre la paroi enveloppante ; le gaz file par J, l'eau sale par M, et finalement le gaz s'échappe par la sortie L. Tous ces organes tournants sont montés sur le plateau calé sur l'arbre K.

En définitive, un seul appareil lave et nettoie le gaz, le sèche relativement et le débite sous pression.

On réalise de longues périodes de marche sans arrêt ; les nettoyages sont faciles par les portes de ringage en se servant de lances à eau.

La commande s'effectue par courroie ou par câbles, ou enfin par accouplement direct.

Les entrées et sorties de gaz sont à volonté horizontales ou verticales, et dirigées vers le bas. Quelquefois on fait deux entrées : il n'y a jamais qu'une sortie unique.

Le gaz débité contient plus d'eau que la quantité qui correspond à la saturation à la température de sortie : on adjoint donc souvent au désintégrateur un séparateur d'eau, basé sur le principe du Pelouze. La teneur en poussières ne dépasse pas 2 centigrammes par mètre cube. On prétend que la dépense de puissance est faible et la consommation d'eau minime : ces termes sont un peu



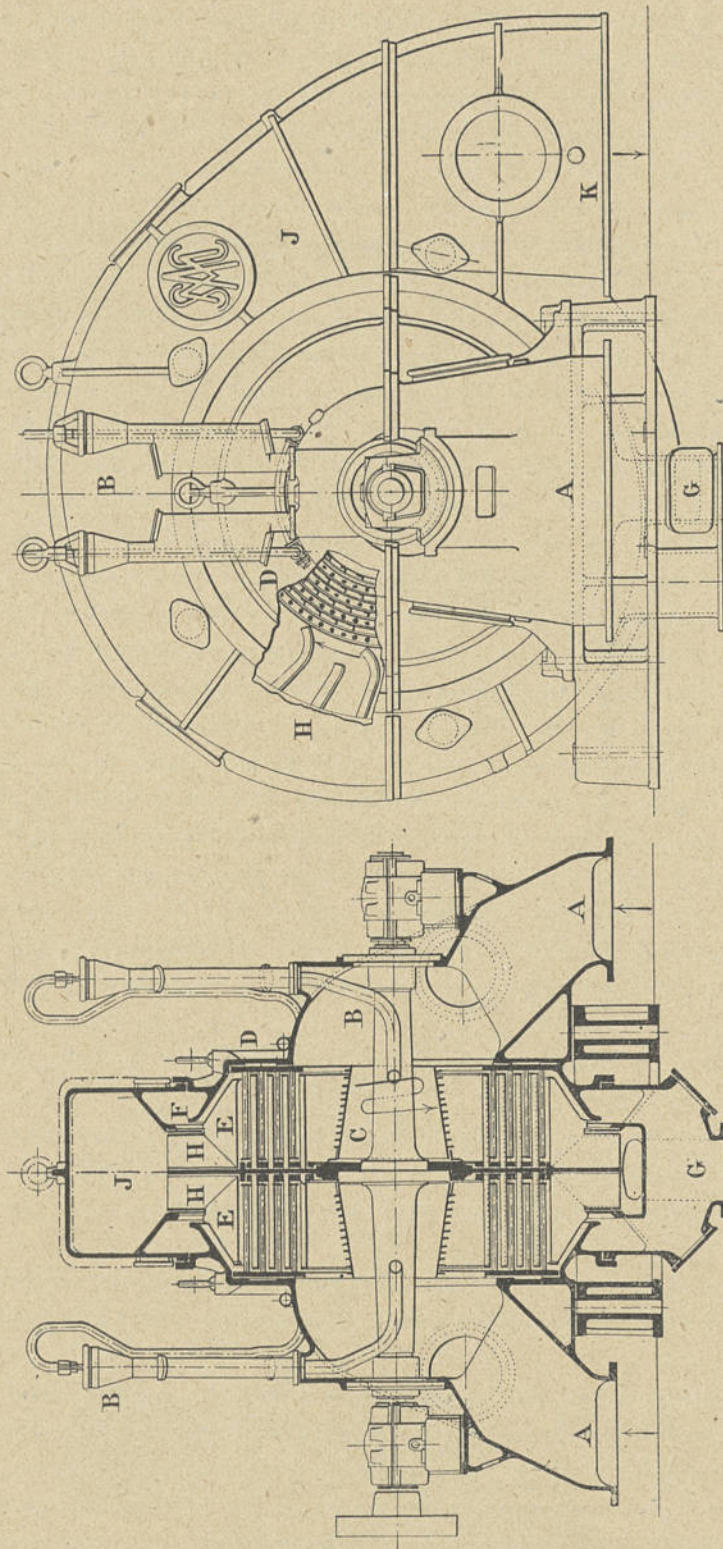


Fig. 162. — Désintégrateur de la Société Alsacienne.



vagues, et nous sommes heureux de pouvoir les préciser en faisant connaître les résultats d'expériences effectuées à Differdange (Luxembourg).

|   |                              |         |        |        |         |
|---|------------------------------|---------|--------|--------|---------|
| Quantité de gaz à 50° en m <sup>3</sup> -heure..... | 44.327                       | 47.353  | 48.515 | 46.611 |         |
| Pression des gaz.....                               | à l'entrée en mm. d'eau....  | 70,5    | — 90   | — 85   | — 85    |
|   | entre séparateur et laveur.  | + 130,3 | + 150  | + 153  | + 158,3 |
|   | augmentation de pression...  | 200,8   | 240    | 238    | 243,3   |
| Teneur en poussières.                               | à l'entrée, en grammes.....  | 1,080   | 1,000  | 0,944  | 0,880   |
|   | à la sortie, en grammes..... | 0,020   | 0,012  | 0,018  | 0,008   |
| Température du gaz..                                | à l'entrée.....              | 40°,0   | 32°,5  | 33°,3  | 32°,5   |
|   | à la sortie.....             | 40°,5   | 33°,5  | 34°,5  | 33°,5   |
| Température de l'eau.                               | à l'entrée.....              | 30°     | 29°    | 29°,5  | 29°     |
|   | à la sortie.....             | 39°,3   | 33°    | 33°,8  | 33°     |
| Consommation d'eau, en mètres cubes.....            | 0,684                        | 0,555   | 0,550  | 0,430  |         |
| Puissance par 1.000 mètres cubes, en chevaux.....   | 5,55                         | 5,43    | 5,22   | 5,00   |         |
| Nombre de tours par minute.....                     | 668                          | 658     | 649    | 677    |         |

A Rombach, les résultats relevés ont été meilleurs encore, attendu qu'en traitant un gaz à 38 centigrammes de poussières au mètre cube, on a abaissé sa teneur à 19 centigrammes, en dépensant seulement 387 litres d'eau par 1.000 litres de gaz et 2,9 chevaux par 1.000 mètres cubes.

La Société Alsacienne conclut en déclarant que le désintégrateur Theisen est le plus simple, le plus sûr, le moins encombrant et le plus économique. Nous ne voulons le comparer à aucun autre, et dirons seulement qu'il est excellent.



## CHAPITRE XII

### MOTEURS A GAZ A QUATRE TEMPS

#### *Généralités.*

Des quatre types de moteurs, qui formaient la base de ma classification des moteurs, il ne reste que les moteurs à explosion et les moteurs à combustion, à deux ou bien à quatre temps : les six temps de Griffin ne sont eux-mêmes plus qu'un souvenir. Les moteurs Compound cherchent encore leur voie; les turbines ont détourné l'attention des moteurs rotatifs et elles sont devenues l'idéal rêvé d'un certain nombre d'inventeurs, qui fondent leurs espérances sur une théorie et ne se laissent pas rebuter par les difficultés d'une pratique peu encourageante jusqu'à cette heure.

Avant d'entrer dans le détail des divers modèles adoptés par les constructeurs, il est opportun de présenter quelques considérations préliminaires sur le développement des idées au cours des dernières années.

Les praticiens ne sont pas encore d'accord sur la question des deux et des quatre temps (1); les premiers conservent leurs partisans chauds et convaincus, mais il semble que leur clientèle ne s'élargisse pas. On continue de faire état en leur faveur de la grande sécurité de fonctionnement qu'ils présentent indiscutablement; on s'efforce de faire ressortir qu'ils ne connaissent pas les ennuis des soupapes de décharge du moteur à quatre temps; que leur long piston, à grande portée, contribue à la conservation du cylindre moteur; que la rencontre du combustible avec l'air comburant assure un mélange parfait; qu'ils s'accommodent facilement des variations des pressions du gaz, appelé et comprimé par une pompe spéciale; qu'ils possèdent une remarquable élasticité au point de vue du nombre de tours effectués dans l'unité de temps et permettent de modifier les vitesses en marche.

Les détracteurs des deux temps leur reprochent par contre leur prix, un peu supérieur, leurs rendements moins bons (rendement thermique et organique), leur vitesse limitée, toute accélération tendant à faire croître le travail de chargement; ils font observer que l'intervention du régulateur est moins prompte,

1. Les Allemands disent le *Zweitakt* et le *Viertakt*; les Anglais, le *two* et le *four Stroke cycle* et les Italiens le *ciclo a due* ou *quattro tempi* ou *fasi*.



attendu que le gaz aspiré prend deux temps pour arriver au cylindre moteur ; ils comptent le nombre de pistons à surveiller et à graisser, et de stuffing-box à entretenir ; ils critiquent les orifices annulaires, percés dans le milieu du cylindre, qui affaiblissent sa résistance, possèdent une étanchéité douteuse, et s'encrassent facilement ; bref, ils ne font grâce d'aucun argument. Toutes ces considérations pratiques si diverses sont appuyées sur une expérience déjà longue : elles doivent être creusées et méditées, avant de se prononcer pour ou contre les deux temps ou les quatre temps ; nous les avons rapportées fidèlement. Que faut-il en retenir ? Nous pensons que les deux types sont également défendables en général, et nous ne blâmerions pas un industriel de remettre au hasard une décision à prendre, en jouant à pile ou face les deux ou les quatre temps. Toutefois, nous accorderions une préférence motivée aux quatre temps pour les groupes électrogènes, qu'il est avantageux à tous égards de faire tourner à plus grande vitesse ; par contre, les deux temps semblent mieux convenir à la commande des soufflantes et des pompes. Mais ces conclusions n'ont rien d'absolu. De fait, les célèbres moteurs Kœrting et von Oechelhaeuser à deux temps ne développent guère plus de 300.000 chevaux, alors que l'on estime au quadruple la puissance totale des grands moteurs à quatre temps et à double effet. La préférence accordée à ces derniers par les industriels constitue une sorte de *referendum*, dont il y a lieu de tenir compte.

Les quatre temps prévalent donc pour les grandes puissances : ils se sont du reste réellement perfectionnés depuis l'Exposition de 1900. Ce serait exagéré de dire qu'une invention sensationnelle se soit produite dans ce domaine ; mais une remarquable mise au point s'est effectuée ; les enseignements de la pratique conduisent décidément plus sûrement au succès que tout le savoir des théoriciens et l'inlassable fécondité des inventeurs.

Il serait extrêmement intéressant de dresser la statistique des brevets pris annuellement depuis vingt ans ; je suis convaincu que leur nombre a considérablement diminué, en rejetant toutefois hors du cadre de ces considérations les moteurs d'automobilisme et d'aviation, qui forment un groupe à part, dont nous nous occuperons plus loin. Ce n'est pas à dire que tout ce qu'il est possible et utile de faire ait déjà été proposé et que la matière soit épuisée ; les hommes d'imagination ne sont jamais à bout de ressources ; mais le besoin d'inventer est moins pressant, quand les situations sont solidement acquises, et le nombre des inventeurs diminue en raison des moindres avantages que peut procurer cette profession. Au lieu de se fatiguer le cerveau à fabriquer de l'inédit et à réaliser quelque chose qui n'ait point encore été vu, les ingénieurs trouvent plus profitable de glaner une solution parmi ce qui a déjà été fait de-ci et de-là, de retenir ce qui a plus ou moins bien réussi, et d'en composer un assemblage harmonieux ; un métier nouveau s'est créé, celui de commis voyageur en modèles de moteurs qu'on propose aux constructeurs des deux mondes, et qu'on vend un bon prix à ceux qui consentent à les payer. Cela ne durera pas toujours, mais cette



initiative a été productive pour plusieurs et elle peut l'être encore pendant quelque temps.

Il résulte de cet état de choses que les formes que nous aurons à décrire ne présenteront pas une grande diversité : on se copie beaucoup et quelquefois même on ne fait que démarquer ce qui a fait la fortune d'un voisin heureux ; quant aux marchands de brevets, ils se copient eux-mêmes ; ne peuvent s'en plaindre que ceux qui leur ont fait confiance.

Il apparaît donc peu de choses réellement originales à l'horizon des moteurs à gaz proprement dits.

Quelques inventeurs reviennent obstinément à l'idée du compoundage, qui n'a jusqu'ici pas fourni de résultats encourageants. M. Buttler a pris un nouveau brevet, et MM. Clark, Chapman and C<sup>o</sup> ont construit sur ses dessins un moteur de 100 chevaux que l'*Engineer* du 12 décembre 1902 a décrit longuement (1). Le mélange tonnant explose dans deux petits cylindres, agissant sur deux manivelles ayant même calage, mais dont les explosions se font dans deux révolutions consécutives. Un distributeur rotatif envoie les gaz brûlés de l'un et de l'autre dans un troisième cylindre, de plus grand diamètre, qui joue le rôle de cylindre de détente : il est calé à 180° des deux autres. Le travail utile développé dans ce troisième cylindre est relativement faible ; mais il améliore le fonctionnement des petits cylindres. En effet, comme la pression tombe à la pression atmosphérique vers les trois quarts de la course, il se fait un certain vide derrière le piston, qui extrait les gaz brûlés des petits cylindres et y opère un balayage énergique. Le grand cylindre n'a évidemment pas besoin d'être à circulation d'eau. On a observé que lorsqu'on alimente le moteur d'air carburé par la gazoline, au lieu de gaz de ville, la détente effectuée dans le grand cylindre développe plus de travail : ce fait demanderait à être étudié, car il peut fournir une indication utile sur le régime de combustion dans les moteurs à essence.

M. Buttler a communiqué dans le *Feilden's Magazine*, les résultats des expériences qu'il a faites sur son moteur de 100 chevaux. Les sections des cylindres sont dans le rapport de 1 à 2,2 ; la détente fait bénéficier d'un accroissement de puissance donné par le rapport des nombres 6,72 à 5,95 ; il est de 13 %. Pour une marche en charge réduite à 80 chevaux effectifs, le grand cylindre fournissait de 18 à 20 chevaux indiqués. Le balayage se serait montré réellement efficace dans le fonctionnement au gaz de ville ; le bénéfice est presque nul quand on fonctionne à l'essence, pour la raison que nous venons de dire. La consommation du moteur aurait été remarquable ; le cheval-heure effectif serait obtenu par 280 grammes d'essence et le cheval-heure indiqué par 232 gr. : ces chiffres permettent de supposer un excellent rendement organique, malgré l'addition d'un troisième cylindre.

Les moteurs à combustion n'ont pas réalisé la fortune que nous espérons

1. *Le Génie civil* a analysé cet intéressant travail dans le numéro du 31 janvier 1903.



pour eux, du moins dans le domaine de l'emploi des gaz, et Gardie n'a pas eu de disciples et de successeurs; par contre, Diesel a créé son moteur à pétrole à combustion, qui jouit d'une vogue considérable et méritée. On a pu discuter les idées qui ont conduit le célèbre ingénieur bavarois dans cette voie féconde, il faut admirer aujourd'hui sans réserve l'œuvre qui est sortie de ses mains et de celles de ses collaborateurs de tous pays.

Ces préliminaires posés, dressons le plan que nous suivrons dans la description des moteurs à combustion interne. Nous commencerons par les moteurs à gaz à quatre temps; viendront ensuite les monographies des moteurs à deux temps. Puis nous étudierons les machines utilisant le pétrole lourd, qui sont à explosion, ou bien à combustion, en faisant une large place à ces derniers, dont le rendement est hors de pair. Nous serons conduits à décrire ensuite les moteurs à essence et à alcool, dont la fortune est liée à celle du carburant national. Nous aborderons alors l'examen de ces admirables moteurs légers et ultra-légers, qui ont permis à la propulsion sur routes et à la navigation aérienne de prendre le développement sensationnel qui a marqué les dernières années : nous leur devons une mention toute particulière et une étude approfondie.

Nous terminerons cette série de monographies par celles des turbines présentement réalisées ou du moins projetées et surabondamment brevetées.

\* \* \*

Avant d'entreprendre l'étude individuelle et détaillée des plus remarquables moteurs à gaz à quatre temps, il nous paraît utile de rappeler les principes directeurs qu'il faut avoir à l'esprit pour comprendre leur fonctionnement et apprécier sainement leurs dispositions caractéristiques.

Pour cela, il faut préciser plus nettement que nous ne l'avons fait la différence essentielle des quatre et des deux temps, sur lesquelles on se méprend quelquefois.

Théoriquement, le cycle des moteurs à explosion avec compression de notre deuxième type comprend les opérations suivantes :

- 1° Aspiration du mélange de gaz et d'air;
- 2° Refoulement de ce mélange et compression;
- 3° Inflammation, explosion et détente des gaz brûlés jusqu'à la pression atmosphérique;
- 4° Échappement de ces produits et expulsion dans l'atmosphère.

La première et la deuxième opération du cycle peuvent être effectuées dans un cylindre spécial, qu'on appelle alors le cylindre de compression; il joue le rôle d'une pompe aspirante et foulante. Le mélange ainsi comprimé est quelquefois remisé dans une antichambre du cylindre moteur ou bien il lui est servi directement. Quoiqu'il en soit, le cylindre de compression et le cylindre moteur fonctionnant *simultanément*, les quatre phases du cycle s'accomplissent en un



seul tour de manivelle, et il y a une impulsion motrice par chaque révolution du moteur.

Au lieu de cela, on peut faire aspirer le mélange par le piston moteur lui-même et lui imposer par surcroît la fonction dévolue aux compresseurs; dans ce cas, un seul cylindre remplace les deux cylindres de la disposition précédente, et les quatre périodes s'effectuent *consécutivement* dans ce cylindre; il faut donc deux tours de manivelle pour les quatre périodes du cycle, et il ne se produit par suite qu'une impulsion motrice pour deux révolutions du moteur.

Le premier dispositif est à *deux temps*, alors que le second est à *quatre temps*.

Leur théorie générique est la même; leur théorie expérimentale ne l'est pas, par le fait que, si la série des opérations est identique dans les deux cas, pour les quatre temps, elles s'effectuent dans le même cylindre, alors qu'elles se déroulent dans deux cylindres, pour les deux temps.

Que peut-il en résulter?

D'une part, la compression réalisable en deux temps est plus faible, et cela suffit pour expliquer un moindre rendement; d'autre part, les pertes thermiques sont plus grandes que dans les quatre temps, où l'on comprime d'un coup, complètement et aussi adiabatiquement que possible, dans le cylindre même où elle travaillera, la charge explosive, en l'enflammant au point mort aussitôt qu'elle a atteint sa pression.

Beau de Rochas, en imaginant les quatre temps, a donc fait preuve d'une remarquable intuition de ce qu'il fallait réaliser pour utiliser le mieux la puissance explosive d'un mélange préalablement comprimé. Il eût été mieux inspiré encore en préconisant une course de détente, plus longue que celle de compression. Son cylindre unique constituait déjà la meilleure solution du problème.

Joignons à ces considérations que les quatre temps ont fait l'objet d'études suivies, qui ont établi une technique rationnelle, qui ne laisse plus grand'chose à désirer. Dans ces machines, on attache la plus grande importance, et avec raison, aux prescriptions qui suivent : préparer un mélange tonnant parfaitement homogène; le comprimer le plus possible, et pour cela réduire dans la mesure nécessaire la richesse du mélange; atténuer d'autre part autant qu'on le peut la perte aux parois, en détendant rapidement dans une paroi chaude; enfin détendre le plus complètement que c'est possible les gaz brûlés, afin de diminuer les pertes par la décharge, qui sont toujours trop grandes, et qui croissent généralement lorsque les pertes à la paroi décroissent.

J'ai toujours insisté énergiquement sur la nécessité de cette détente complète, qui n'est malheureusement pas réalisée dans les moteurs Otto, dans lesquels une avance considérable à l'échappement coupe le diagramme bien avant que les gaz brûlés n'aient été détendus au voisinage de la pression atmosphérique. Ainsi que je l'ai expliqué dans le premier volume de cet ouvrage, il faudrait que la course de compression fût plus courte que celle de détente : dans les moteurs



Otto et similaires, ces deux courses sont égales et il en résulte une sérieuse imperfection du cycle (1).

Mais le cycle d'Otto est d'une réalisation beaucoup plus facile, qui justifie la préférence que de nombreux constructeurs ont continué de lui accorder. Les procédés permettant une détente complète, par inégalité de course, imposent l'emploi de mécanismes compliqués, présentant de nombreuses articulations, sujets à usure rapide, d'une construction très coûteuse et produisant des résistances anormales, qui réduisent le rendement organique; certains artifices permettent d'obtenir, il est vrai, l'allongement de la détente par des moyens indirects, mais alors cela se fait au détriment de la compression, et c'est un nouvel inconvénient, attendu que le rendement tend par le fait même à diminuer considérablement.

Le mode de réglage le plus habituellement employé pour les moteurs à quatre temps a consisté durant des années à maintenir constante la composition et la compression du mélange tonnant, en supprimant les admissions aussitôt que et aussi longtemps que la vitesse dépasse celle qu'on a adoptée comme vitesse de régime; on égalise ainsi, en faisant des passages à vide, le travail moteur au travail résistant. C'est la méthode du *tout ou rien* : nous avons démontré, en établissant la théorie expérimentale, que l'on obtient de la sorte un bon rendement thermique (2).

Il y a plusieurs manières de réaliser ce mode de régulation :

1° Par un artifice quelconque, la came qui commande l'ouverture de la soupape d'admission du gaz combustible cesse de remplir cet office, par le jeu d'un organe soumis au régulateur; le piston n'aspire plus que de l'air;

2° La soupape d'admission étant automatique, c'est-à-dire s'ouvrant spontanément par l'appel du piston, le régulateur maintient levée la soupape d'échappement aussi longtemps que la vitesse est supérieure à une valeur déterminée; la soupape d'admission cesse donc d'elle-même d'admettre du gaz;

3° Dans les mêmes conditions que ci-dessus, la soupape d'échappement ne se lève plus, ce qui a aussi pour effet de supprimer l'admission du gaz.

Dans le premier cas, on introduit dans le cylindre des charges d'air froid, qui provoquent un refroidissement de la paroi; il s'ensuit, après un passage à vide, que les combustions sont moins vives et partant moins bonnes, mais par contre l'air dilaté fournit un certain travail. La seconde solution fait rentrer dans le cylindre des gaz qui peuvent être souillés de poussières : on raie les cylindres, et il peut se produire des accumulations de substances solides, amenant des allumages spontanés et intempestifs. Le dernier mode échappe à cette critique, mais il occasionne une suite de compressions et de décompressions des gaz brûlés, qui absorbe du travail et ne le restitue pas entièrement.

1. Cf. tome I, pages 305 et 321.

2. Les Anglais donnent à ce procédé le nom de *hit and miss*; les Allemands, recourant à une périphrase, disent que la régulation se fait *durch aussetzen*.



Au demeurant, les arguments que l'on peut faire valoir contre le tout ou rien n'ont pas une très grande portée; malgré cela, il tend à disparaître. Il subit le sort des meilleures choses : il a cessé de plaire! Les amateurs de nouveautés l'accusent de quelques imperfections, mais pour eux son principal défaut est d'être suranné. On reproche à ce mode de réglage par suppression d'impulsion motrice d'exiger de lourds volants pour posséder une régularité cyclique convenable, de donner des coups durs et de ne pas se prêter à un travail régulier à très faible charge; on feint d'oublier d'autre part que la constance du dosage donne lieu à un fonctionnement très économique, que la consommation reste bonne aux charges réduites, que ce mode d'intervention du régulateur est le plus simple et le plus facile et que de nombreuses années de bons et loyaux services plaident en faveur de ce type de moteur. On prétend que le tout ou rien doit être rejeté déjà pour les puissances de 20 chevaux et qu'il constitue un « véritable danger » pour les puissances de 100 chevaux et au delà. Et pourtant le moteur Cockerill de 200 chevaux, que j'essayais à Seraing en juillet 1908, et celui de 600, que M. Hubert et moi soumettions à de longues expériences en mars 1900, avant son départ pour l'Exposition, étaient réglés par tout ou rien, et ils fournissaient une puissance régulière et une vitesse bien constante, avec un coefficient de rendement qui n'a guère été dépassé depuis lors. Le prétendu danger, qu'on a dénoncé bruyamment, n'existait donc que dans l'imagination de ceux qui partaient en guerre contre un système, dont le plus grand tort était de n'avoir pas besoin de l'aide des inventeurs en quête d'emploi. Les constructeurs anglais eux-mêmes, restés longtemps fidèles au *hit and miss*, ont obéi finalement au mouvement et se sont lancés dans la voie nouvelle des réglages par variation de quantité et de qualité : ils ont été entraînés par l'exemple des Allemands. Mais ceux-ci, qui abordaient alors les plus grandes puissances de 2.000 chevaux et plus, avaient un argument pour chercher un mode de réglage plus souple et plus élastique que le tout ou rien; les Anglais, au contraire, réfractaires aux grands moteurs, n'avaient nulle raison de rompre avec les vieilles traditions de leur construction et de renoncer, pour leurs petites machines, à un type qui possède l'avantage d'être très facile à conduire.

En effet, une fois que le mélange qui convient est trouvé pour un moteur à tout ou rien, le mécanicien préposé à sa surveillance n'a plus à toucher au robinet à gaz, quelle que soit la charge du moteur; son rendement est presque aussi bon à toutes les puissances et l'allumage s'effectue avec la même sûreté. Voilà une qualité toute particulière au système; elle est précieuse pour les petits moteurs, placés entre des mains inhabiles, et dont le coefficient d'irrégularité a peu ou point d'importance.

Le tout ou rien ne présente en vérité d'inconvénients sérieux que pour les puissances supérieures à 50 chevaux et pour les applications qui exigent une parfaite régularité cyclique. Il convient alors de substituer à un actionnement intermittent une puissance motrice continue, qui maintienne constamment



l'égalité entre le couple moteur et le couple résistant, et qui fasse varier le premier avec le second, par l'intervention automatique instantanée d'un régulateur sensible et à effet rapide. Le procédé est assurément plus élégant que l'ancien, je suis le premier à le reconnaître.

On a eu recours d'abord à un système de réglage qualitatif, à teneur variable et volume constant : la variation de la richesse du mélange, en fonction du travail à effectuer, assure un régime d'équilibre entre la puissance motrice et les résistances à surmonter; la constance du volume maintient une compression constante aussi. Il est à remarquer que ce mode de réglage est ancien, attendu qu'Otto l'avait appliqué dès le début (1) : pour empêcher qu'il ne se produise des ratés d'allumage dans les mélanges trop pauvres, on admettait une tranche d'air pur avant d'ouvrir la valve du gaz. On avait la prétention de faire varier ainsi le dosage total du mélange « sans changer la composition du mélange actif proprement dit (2) ». Il suffisait, pour modifier la quantité de mélange explosif aspiré, suivant le travail demandé au moteur, de maintenir la soupape d'admission du gaz fermée pendant une partie de la course plus ou moins longue, durant laquelle on n'aspirait que de l'air. « On pouvait ainsi régler à volonté la proportion du mélange actif par rapport aux gaz indifférents et proportionner l'effet de l'explosion à la puissance requise. » Le système du tout ou rien ne fut breveté par Otto qu'en 1877; il constituait donc un progrès aux yeux de l'illustre inventeur : nous venons de voir qu'on en juge différemment aujourd'hui.

Les ingénieurs de Deutz parlaient de stratification du gaz et ils professaient la célèbre *théorie des tranches*, qui n'était guère défendable; mais ils pratiquaient dans leurs moteurs le système de la *cartouche*, qui consistait à localiser, dans un réduit placé au voisinage de l'allumage, un mélange extrêmement riche, qui ne pouvait se diffuser dans la masse de la charge, et qui assurait une mise de feu régulière et une projection de flamme dans le cylindre. Ils répondaient de la sorte à toutes les objections.

L'abandon de la cartouche et le manque de foi dans la possibilité des tranches a fait renaître des objections, qui sont devenues assez vives en ces derniers temps. On reproche surtout au réglage qualitatif de produire de mauvais allumages à faible charge, de donner lieu à de longs feux et à des combustions incomplètes, qui nuisent aux rendements et occasionnent des consommations excessives. Mais ce ne sont pas les seules critiques formulées contre le système. Ce mode de régulation ne permettrait pas toujours de proportionner rigoureusement la richesse du mélange à la puissance à développer. On en trouve l'explication dans le fait que l'air, appelé dans le cylindre par la progression du piston, afflue continûment durant toute la course, tandis que le gaz, admis par intermitances, se lamine au passage de la soupape; l'air prend donc une accélération déterminée, tandis que le gaz, parti d'une vitesse nulle, est paralysé dans son

1. Brevet de 1876.

2. Dire de G. Richard dans le procès Otto contre Powel, page 14. ]



mouvement. Il se produit ainsi des effets d'inertie, qui compromettent absolument le résultat poursuivi de faire un mélange répondant rigoureusement aux besoins du travail. Que des variations de pression du gaz surviennent en plus et la constitution du mélange subira des modifications qui troubleront le réglage. Enfin, les longs feux produits dans les mélanges pauvres tendent à provoquer des explosions de retour dans la boîte de mélange. Bref : le réglage qualitatif prêle le flanc à la critique.

Par contre, ce réglage présente le grand avantage d'opérer à chaque coup un remplissage complet de la cylindrée et de maintenir la compression constante : on sait l'intérêt théorique et pratique que présente ce dernier fait. Les cylindrées pleines permettent d'autre part de simplifier un peu les organes de distribution, puisqu'il n'y a plus de dépression à fin de course, que les soupapes restent appuyées sur leurs sièges, sous la seule action de leurs ressorts, et qu'il n'y a plus aucun dispositif de verrouillage à prévoir.

Généralement, dans ce système de réglage, on fait agir le régulateur sur la soupape de gaz : le mouvement de cette soupape est combiné avec celui de la soupape d'admission du mélange, mais la commande de cette dernière est invariable, tandis que l'autre est variable. Nombreux sont les dispositifs qui réalisent cette double condition; nous en décrivons un certain nombre; ils reposent le plus souvent sur l'emploi de deux leviers et de deux tiges concentriques; un des leviers agit toujours de même sur la tige de la soupape de mélange, mais l'autre actionne la tige de la soupape à gaz par un balancier à point d'appui

variable, ou bien à point d'application variable, sous la dépendance du régulateur. On a aussi fait usage de déclics, qui diminuent le travail du régulateur : celui-ci provoque une rupture de contact d'un doigt et d'un butoir; cette rupture opérée, la valve retombe par l'effet d'un ressort. Les appareils diffèrent un peu de ceux qui sont devenus



Fig. 163. — Réglage qualitatif.

classiques pour les machines à vapeur, attendu que l'admission du gaz commence un certain temps après la levée de la soupape de mélange, pour finir au moment où celle-ci se

ferme; elle se terminera un peu avant, si l'on veut faire un balayage d'air dans la boîte, pour éviter les explosions en retour.

La figure 163 fait voir en superposition les diagrammes qu'on relève sur les moteurs à composition variable et admission totale à diverses charges : on voit que la compression reste constante (1).

Le réglage par mélange de composition constante et admission variable s'effectue en formant le mélange d'air et de gaz dans des proportions déterminées avant la soupape d'admission, et en admettant le volume qui est néces-

1. Ces diagrammes sont ceux que nous avons relevés sur le moteur Cockerill de 1.500 chevaux, essayé les 9 et 10 janvier 1906, par M. Hubert et moi.



saire pour entretenir la vitesse de régime du moteur, quelle que soit la puissance demandée. Ce système, analogue à celui des machines à vapeur, à admission opérée par le régulateur, paraît avoir aujourd'hui les préférences de la majorité des constructeurs : il est rationnel, mais présente cependant plusieurs inconvénients, qu'il ne faut point passer sous silence. Et d'abord, ce mode de réglage ne réalise plus la constance de la compression : pour les puissants moteurs, c'est un défaut, attendu que l'inertie des masses en mouvement n'est plus équilibrée à faible charge; de plus, le rendement est notablement affecté par la diminution de la compression. Le procédé a d'ailleurs le second désavantage de ne plus remplir le cylindre à chaque coup; il en résulte un vide relatif à la fin de la période d'aspiration, ce qui oblige de munir les soupapes de ressorts très énergiques et même de les verrouiller, pour les empêcher de se soulever automatiquement. Il est bien difficile de dire si ces inconvénients du système ne rachètent pas ses qualités reconnues, au point de vue thermique : la question ne nous paraît pas définitivement tranchée, et il faudra encore de longs essais pour pouvoir se prononcer en toute certitude.

La figure 164 montre les divers diagrammes qui correspondent à des charges variées; ils ont été pris sur un moteur Otto, à réglage quantitatif de 460 millimètres d'alésage et 0 m. 600 de course, développant 120 chevaux effectifs à pleine charge. Le plus petit diagramme représente 40 chevaux.

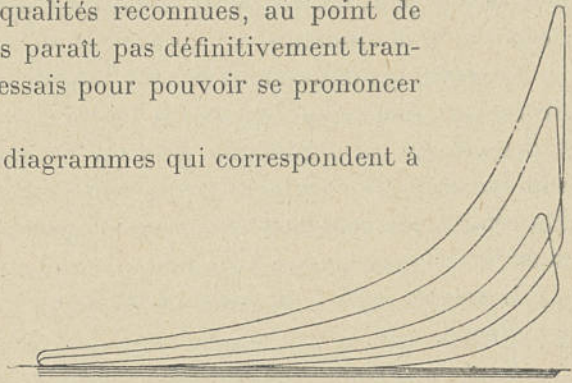


Fig. 164. — Réglage quantitatif.

Dans ce genre de moteurs, le volume du mélange admis est réduit sous l'action du régulateur, soit par un papillon, soit par un dispositif mécanique.

Il n'y a souvent qu'un seul papillon placé sur l'amenée du mélange; mais on peut aussi munir de papillons les deux conduites d'air et de gaz; cette dernière manière de faire présente le désavantage de permettre au gaz de refouler l'air dans sa canalisation, quand il possède un excès de pression, et quelques constructeurs ont été obligés de placer un clapet de retenue en amont, pour supprimer cet effet. Les papillons doivent toujours être disposés le plus près possible de la soupape d'admission du mélange.

Nous croyons préférable, et il est certainement plus élégant, de faire varier par le régulateur le degré d'ouverture de la soupape d'admission : on obtient ce résultat comme ci-dessus par l'emploi d'un levier unique, produisant une levée variable, par déplacement du point d'appui ou du point d'application de l'effort exercé sur la tige de la soupape. On peut concevoir de nombreux dispositifs de l'un ou l'autre genre. Souvent encore, la soupape est séparée de son siège d'un



mouvement continu, et sa levée se poursuit jusqu'à ce que la rencontre d'un doigt, dont la position dépend du régulateur, fasse manœuvrer un dé clic.

Dans la plupart de ces dispositifs, les sections ouvertes au passage du mélange varient avec la charge du moteur et il s'effectue un fort laminage aux faibles charges : le volume admis est alors noyé dans la masse relativement considérable des gaz brûlés retenus dans la chambre de combustion, et l'allumage présente d'autant plus de difficulté que la compression est devenue plus faible. C'est un inconvénient sérieux du réglage quantitatif : la composition constante du mélange introduit dans le cylindre est donc loin d'être toujours réalisée.

Beaucoup de constructeurs ont fait emploi, pour la formation du mélange invariable, de tiroirs cylindriques concentriques à l'axe de la soupape d'admission et placés au-dessus de celle-ci; les commandes se font par des tiges formant manchon l'une sur l'autre : le démontage de ces appareils n'est pas toujours aisé et l'on peut croire que la disposition côte à côte des organes du mélange et de la valve d'admission est en somme encore plus pratique.

De savantes discussions se sont élevées sur la valeur relative des deux modes de réglage que nous venons de décrire; on a plaidé le pour et le contre avec ardeur, mais les arguments produits ne sont pas assez concluants pour qu'on soit en droit de conclure formellement en faveur d'un système contre l'autre. En réalité, les meilleures maisons de construction ont adopté l'un ou l'autre et souvent elles ont essayé les deux.

Il semble que l'on puisse déduire ce qui suit d'une expérience déjà assez prolongée.

Avec le réglage qualitatif, le mélange ne se fait dans de bonnes conditions de constance et d'homogénéité qu'aux environs de la pleine charge, et lorsque le gaz combustible arrive au cylindre sous pression; à demi-charge, le mélange est souvent irrégulier, et il s'effectue mal aux faibles charges; c'est ce dont témoignent les diagrammes que nous avons relevés sur de nombreux moteurs. Cet inconvénient est surtout sensible quand on marche par aspiration sur gazogène.

L'observation semble démontrer que le réglage quantitatif jouit de propriétés précisément inverses : le mélange est meilleur aux faibles qu'aux fortes charges; mais il ne s'opère pas mal à charge pleine, ce qui pourrait le faire préférer à l'autre en certaines applications.

Voici maintenant un argument contre le réglage quantitatif : il s'applique aux cas où l'on cherche à régler la puissance par un changement de vitesse. Dans ce cas, on agit à la main sur une valve de laminage : le cylindre reçoit alors un mélange trop riche, qui brûle mal et fait long feu, d'où résulte un échauffement considérable de la soupape d'échappement. Le régulateur intervient aussitôt pour admettre plus de mélange; il réagit contre l'effet d'étranglement et aggrave le mal.

Les constatations que nous venons de faire devaient suggérer de recourir à une combinaison des deux systèmes, et l'on a essayé de procéder par compo-



sition variable et par admission variable; pour obtenir ce résultat, on commence par régler quantitativement au voisinage de la puissance normale; puis, la charge diminuant, on appauvrit le mélange, en admettant plus d'air, mais de façon à conserver une compression constante; en plus de cela, au fur et à mesure que la teneur du mélange en gaz combustible décroît, on donne de l'avance à l'allumage. Le régulateur est donc pourvu d'une triple fonction : d'abord, il règle le degré d'admission d'un mélange constant dans sa composition; ensuite, il fait varier la proportion relative d'air et de gaz; enfin, il détermine selon le besoin la position du point d'allumage. C'est parfait comme conception, mais cela devient bien compliqué.

Les ingénieurs allemands ont appliqué des modes de réglage mixtes plus simples, que nous décrirons en son temps, en traçant les monographies des puissants moteurs à gaz de hauts fourneaux et de fours à coke des maisons M. A. N. (d'Augsbourg et Nuremberg), Haniel et Lueg, Ehrhardt et Sehmer, etc.

M. Reinhardt a proposé un autre procédé mixte, sur l'incitation de M. Eugène Meyer; il consiste à disposer, pour l'arrivée de l'air, deux entrées différentes : l'une est ouverte seule au commencement de la course, alors que le gaz n'a pas encore été admis; à un moment donné, fixé par la position du régulateur, un tiroir ferme brusquement ce chemin de l'air, mais il découvre une autre entrée en même temps qu'il laisse arriver le gaz. Les deux lumières ont des sections déterminées de façon à former un mélange assez riche pour assurer une combustion complète. M. Reinhardt espère réaliser ainsi la constance de la compression ainsi que la constance de la composition de la charge tonnante, du moins au voisinage de l'étincelle d'allumage. Je ne sais si les résultats obtenus ont répondu à l'attente de l'ingénieur allemand.

Nos inventeurs français ont imaginé un autre procédé pour régler la vitesse par variation du volume de mélange admis, la teneur du mélange restant encore constante, comme précédemment. Les soupapes d'admission d'air et de gaz s'ouvrent et se ferment à la fois, de façon à maintenir la proportion de gaz à l'air qu'on a choisie comme la meilleure; mais elles ne restent ouvertes qu'un temps déterminé, sous la dépendance du régulateur. Le mélange cessant d'être admis derrière le piston qui recule, il se produit dans le cylindre une dépression et, au retour du piston, une compression moindre. La compression est donc variable.

Cette manière de faire avait été indiquée autrefois par Niel, dans le but, très logique et parfaitement rationnel, d'allonger la détente, en raccourcissant la course de compression sans réduire celle de détente; ne revenons pas sur cette considération que nous avons déjà fait valoir, mais disons que la régulation se faisait bien. On revient aujourd'hui à cette pratique, qui présente de réels avantages.

Mais il existe une autre méthode, innovée par Charon. Pour réduire la charge, dès que la vitesse devient trop grande, cet inventeur a imaginé de laisser ouverte



la soupape d'admission durant une fraction plus ou moins grande de la course de retour; une portion du mélange s'échappe donc hors du cylindre. Or, ce mélange rejeté se cantonne dans un long tuyau, à travers lequel l'air va être aspiré, et il attend d'y être repris par l'aspiration suivante. Il y a donc *remisage* du mélange rejeté; il en résulte une *décompression* peu avantageuse; par contre, la détente est allongée. En somme, le procédé donne de bons résultats économiques à pleine charge, mais à demi-charge la consommation par cheval-heure effectif augmente sensiblement.

Letombe a voulu éviter ce dernier inconvénient et il a essayé d'augmenter la compression, lorsque la charge diminue; son moteur est donc à *surcompression*. En même temps que la compression croît, la richesse du mélange décroît, de telle façon que la pression explosive reste à peu près invariable : nous avons déjà discuté les avantages de ces divers cycles (1).

Signalons encore ici une idée suggérée par M. le capitaine Munsch, consistant à produire une avance à l'allumage par le régulateur quand le mélange s'appauvrit.

Nous en avons assez dit sur ce point : poursuivons notre étude des conditions générales d'établissement des moteurs.

Les quatre et les deux temps se prêtent également bien à l'emploi des gaz et à celui de l'air carburé par des carbures liquides, pétroles légers ou lourds et alcool. Cette carburation est facile pour les liquides très volatils, un peu plus ingrate pour les pétroles lourds, mais elle a été réalisée pour les uns et les autres avec une grande aisance, grâce à des dispositions particulières, que nous avons déjà décrites et sur lesquelles nous reviendrons, car elles le méritent.

Il n'y a pas eu de grandes modifications à apporter aux moteurs pour les accommoder à l'emploi des gaz pauvres et des gaz des hauts fourneaux. La grande pauvreté de ces gaz et la composition spéciale des mélanges exigeait évidemment des sections plus largement et différemment proportionnées des soupapes d'admission de gaz et d'air : c'était facile à faire. Les compressions devaient être plus fortes, ce qui ne présentait non plus aucune difficulté particulière. Il fallait surtout éviter le dépôt et l'accumulation des poussières et veiller à leur complète expulsion; on a obtenu ce résultat en étudiant avec plus de soin la forme des culasses, en ramassant les soupapes, en les plaçant où il fallait; quelques ingénieurs en sont revenus au balayage, pour expulser les corps solides par une chasse d'air énergique. MM. Thwaites et Mensforth ont emprunté l'air de ces chasses aux souffleries mêmes des hauts fourneaux; Crossley et Wells ont adjoint à leur piston moteur un piston annulaire de compression d'air; d'autres, qui font leurs mises en route à l'aide de l'air sous pression, empruntaient aux réservoirs disposés *ad hoc* l'air dont ils avaient besoin pour nettoyer leurs cylindres. Tous ces moyens ont abouti et les premières difficultés causées par des gaz trop impurs sont surmontées aujourd'hui.

1. Cf. tome I, page 332 et suivantes.



L'allumage par tubes incandescents seul souffrait encore des poussières accompagnant les gaz; on y a renoncé pour donner la préférence aux bougies électriques, seules en usage aujourd'hui.

La construction de moteurs de puissance rapidement croissante a fait envisager d'autres problèmes, qui ont aussi trouvé leur solution. Bien osé était le premier ingénieur qui a tracé le piston de 1.300 millimètres de diamètre; la surface que ce piston présente au gaz est de 13.273 centimètres carrés; comme il s'y développe instantanément une pression d'au moins 16 kilogrammes par centimètre carré, la poussée atteint 213.000 kilogrammes, laquelle se répète quarante fois par minute : ces chiffres sont terrifiants. Ils n'ont pas fait reculer Delamare-Deboutteville et Malandin, et nous y sommes si bien habitués aujourd'hui, que nous oublions les difficultés qu'il a fallu vaincre. Les progrès de la métallurgie ont permis de couler les énormes cylindres en forme d'obus, de forger les bielles et les arbres d'acier, les manivelles et les volants nécessaires pour subir, transmettre et régulariser les violentes poussées du mélange tonnant dont on utilise l'énergie dans ces formidables engins. En prenant la précaution de refroidir par d'abondantes circulations d'eau les organes de ces machines, de manière à leur garder une température suffisamment basse, on écarte tout danger d'un allumage intempestif, surtout si l'on appauvrit le mélange au fur et à mesure qu'on le comprime davantage. On effectue les mises en route de ces colosses par de l'air comprimé pur, ou bien par une charge d'air carburé, ou de mélange tonnant, envoyée par une pompe spéciale dans la culasse, ou encore par des moyens mécaniques ou électriques : il est bien rare que le conducteur ait à s'y reprendre à deux fois.

C'est ainsi que le moteur à gaz a grandi, jusqu'à atteindre une puissance, qui ne se compte plus par centaines, mais par milliers de chevaux.

En abordant ces grandes puissances, les ingénieurs ont eu à trancher une question de principe : convenait-il de faire les moteurs à un ou à plusieurs cylindres?

Les ingénieurs de Deutz donnèrent la préférence au type de deux et quatre cylindres; ils revendiquaient pour lui une économie sensible sur les frais de construction, M. Munzel, ancien directeur des ateliers Otto allemands (1), prétendait que, pour des machines exigeant une très grande régularité, le prix de revient du moteur monocylindrique était plus élevé des deux tiers que celui du moteur à quatre cylindres; les prix ne s'égaliseraient même pas pour les moteurs possédant une régularité moyenne. Cette affirmation était exacte; elle fut vérifiée par la pratique. Mais le prix de revient n'est pas le seul élément à considérer dans un moteur : il en est d'autres encore qu'on invoque en faveur des deux ou des quatre cylindres. La consommation des moteurs polycylindriques est au plus égale à celle des premiers. J'ai constaté, en effet, par les

1. Voir notre compte rendu du *Congrès international de mécanique appliquée*, tome I, page 513.



nombreux essais que j'ai effectués sur les types les plus divers de moteurs, que le rendement thermique ne s'améliore pas avec les dimensions du cylindre; la masse des organes en mouvement croît, d'une part, rapidement avec la puissance; d'autre part, les pertes par l'échappement et par la détente incomplète augmentent plus vite que ne diminuent les pertes par les parois; de plus, les nécessités de la réfrigération par circulation d'eau imposent des dispositions et des charges plus onéreuses pour les cylindres de très fort diamètre; enfin, la division des efforts et du travail assure une sécurité relative plus grande à l'égard de certains accidents produits par des allumages intempestifs.

Les ingénieurs de Deutz publièrent à l'appui de leurs dires les chiffres suivants, qui jetaient quelque lumière sur la question controversée.

| ORGANES DES MOTEURS                 | MOTEUR A 4 CYLINDRES |               | MOTEUR<br>A UN CYLINDRE<br>600 chevaux. |
|-------------------------------------|----------------------|---------------|---|
|                                     | 600 CHEVAUX          | 1.000 CHEVAUX |   |
| Diamètre du ou des cylindres....    | 660 mm.              | 900 mm.       | 1.300 mm.                               |
| Course du piston.....               | 0 m. 850             | 1 m. 100      | 1 m. 400                                |
| Diamètre du bouton de manivelle.... | 280 mm.              | 370 mm.       | 460 mm.                                 |
| Poids du moteur sans volant....     | 87,9 tonnes.         | 161 tonnes.   | 94 tonnes.                              |
| — volant.....                       | 18 —                 | 30 —          | 33 —                                    |
| Nombre de tours par minute....      | 150                  | 120           | 93                                      |
| Coefficient d'irrégularité.....     | 1/130                | 1/130         | 1/20                                    |
| Encombrement. {                     | longueur.....        | 9 m. 85       | 13 m. 60                                |
|                                     | largeur.....         | 6 m. 00       | 8 m. 30                                 |
|                                     | hauteur.....         | 3 m. 15       | 3 m. 95                                 |
|                                     |                      |               | 11 m. 00                                |
|                                     |                      |               | 6 m. 00                                 |
|                                     |                      |               | 4 m. 00                                 |

Bref, on faisait valoir des arguments séduisants en faveur des quatre et des deux cylindres.

Mais écoutons les défenseurs de la thèse opposée. Le cylindre unique se prête bien mieux à la commande directe de certaines machines, et notamment des machines soufflantes. D'ailleurs, la multiplication des cylindres et de leurs organes de distribution entraîne des difficultés de conduite plus grandes, des nécessités de surveillance et de graissage plus pressantes, des chances d'avaries plus nombreuses, des éventualités d'obstruction par les goudrons et par les poussières plus graves, etc. : nous reconnaissons que ces arguments avaient une grande valeur.

Il convient de reconnaître du reste qu'aucun constructeur ne se montrait obstinément partisan des moteurs à un cylindre; Delamare-Deboutteville lui-même a toujours déclaré qu'il ne cherchait à construire de grands cylindres qu'en vue de rendre possibles de plus puissants moteurs polycylindriques; en démontrant la possibilité de développer 600 chevaux par un cylindre, il préparait le moteur à deux cylindres de 1.200 chevaux et celui de 2.400 chevaux à quatre cylindres. De fait, c'est à son initiative qu'est dû le développement de la puissance des moteurs; le concours que lui donna M. Greiner, l'éminent directeur des établissements Cockerill, de Seraing, fut décisif dans l'espèce.



On fut amené à la fois à augmenter le diamètre des cylindres et à multiplier leur nombre.

Mais il y a beaucoup de manières de grouper les cylindres : quelle est la disposition la plus avantageuse au triple point de vue du fonctionnement des moteurs, de l'équilibre des couples moteurs et de la régularité cyclique? Faut-il jumeler les cylindres en les disposant côte à côte ou bien en les opposant? Doit-on donner la préférence au doublement en tandem?

Cette dernière disposition était séduisante, à condition de ne pas affaiblir le massif des fondations des deux cylindres mis à la suite, au détriment de la stabilité du moteur. En décalant les deux cycles de  $360^\circ$  l'un par rapport à l'autre, chaque révolution a son coup moteur et on réalise la marche à deux temps. En plaçant deux systèmes semblables l'un à côté de l'autre et en décalant leurs manivelles de  $180^\circ$ , on fait une explosion par demi-tour dans les meilleures conditions d'équilibrage et de régularité.

Deux cylindres opposés, agissant par deux bielles sur un même bouton de manivelle avec décalage de  $360^\circ$ , donnent deux explosions consécutives dans un tour, alors que le tour suivant n'est plus moteur, ce qui n'en favorise pas la régularité; mais l'équilibrage est bon. On objecte encore avec raison à ce groupement la longueur démesurée des machines et de leurs fondations.

Les constructeurs du moteur Otto pratiquèrent pendant plusieurs années l'accouplement à quatre cylindres opposés deux à deux, avec décalage de  $180^\circ$  d'un couple à l'autre; il présentait le grand avantage, au point de vue de la régularité, de donner une explosion à chaque demi-tour, et de permettre de placer le volant au milieu de l'arbre, entre les deux vilebrequins; mais ces machines occupent un grand emplacement et il s'y produit un couple horizontal des pièces mobiles, qui ne contribue pas à un parfait équilibre dynamique.

Ce ne fut que tardivement qu'on osa revenir aux cylindres à double effet, de Lenoir et de Hugon. On y avait renoncé par suite de la difficulté d'obtenir des presse-étoupes étanches et durables, et des inconvénients graves qui résultaient des hautes températures développées. Griffin s'y était essayé, en 1883, avec son cycle à six temps; Kerr fit une nouvelle tentative, en 1893. Mais c'est à Letombe qu'était réservé le succès : son intelligente initiative fut récompensée par un grand prix à l'Exposition de Bruxelles de 1897. Aujourd'hui que l'on construit des moteurs de 8.000 chevaux à 4 cylindres à double effet, on paraît oublier celui qui a engagé la construction dans cette voie.

Letombe imagina aussi une disposition en triplex, dans laquelle un cylindre à double effet était placé derrière un autre à simple effet, lequel devait servir de glissière au premier, les deux cylindres étant en tandem avec stuffing box. Dans cet agencement, il y avait une impulsion motrice pour trois demi-tours consécutifs, mais le quatrième demi-tour donnait une aspiration, une compression et une décharge, sans explosion. Ce système a été abandonné.

Westinghouse accouplait trois cylindres verticaux, décalés à  $240^\circ$ ; la répar-



tition des efforts moteurs est ainsi rendue symétrique en même temps qu'on réalise un bon équilibre mécanique et une grande régularité.

Avec le double effet, deux cylindres jumelés donnent deux impulsions motrices par tour de manivelle, donc une impulsion par course, ainsi qu'on peut s'en rendre compte par le tableau suivant :

|               |                              | DEUX CYLINDRES A DOUBLE EFFET JUMELÉS |                          |                         |                       |
|---------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|
|               |                              | CYLINDRE DE DROITE                    |                          | CYLINDRE DE GAUCHE      |                       |
|               |                              | avant                                 | arrière                  | avant                   | arrière               |
| Premier tour. | 1 <sup>er</sup> coup AV..... | Temps I. — Aspiration.                | Temps II. — Compression. | Temps III. — Explosion. | Temps IV. — Décharge. |
|               | — AR.....                    | Temps II.                             | Temps III.               | Temps IV.               | Temps I.              |
| Second tour.  | 2 <sup>e</sup> coup AV.....  | — III.                                | — IV.                    | — I.                    | — II.                 |
|               | — AR.....                    | — IV.                                 | — I.                     | — II.                   | — III.                |

Les manivelles correspondent au même angle de calage : on pourrait dire qu'elles sont calées à 360°, ce qui est identique.

Même résultat avec deux cylindres à double effet, placés en tandem, avec une manivelle unique.

La plupart des constructeurs de gros moteurs donnent actuellement la préférence au type horizontal : ces moteurs ont en effet plus d'assiette que les moteurs verticaux, leurs bâtis sont moins lourds, l'accès des organes est plus facile, les impuretés des gaz s'expulsent plus aisément, etc. : par contre, les cylindres sont exposés à s'ovaliser, surtout dans les moteurs où la bielle s'articule directement sur le piston; la suppression des crosses de piston guidées nous paraît regrettable à cet égard. Ces avantages et ces inconvénients sont d'ailleurs les mêmes que dans les machines à vapeur; dans l'un et l'autre cas, ce sont les mêmes considérations qui doivent diriger les ingénieurs.

La distribution s'effectue dans l'immense majorité des moteurs à quatre temps, à l'aide d'un arbre longitudinal, faisant un tour pour deux du moteur; il était commandé autrefois par des roues d'angle, mais on donne depuis longtemps la préférence aux roues hélicoïdales. Cet arbre porte un certain nombre de cames ou d'excentriques, auxquels est dévolue la fonction de faire mouvoir les organes de distribution et d'allumage.

Les tiroirs de distribution à fonction multiple des premiers moteurs Otto ont dû être abandonnés, lorsque l'on a abordé les hautes compressions : les soupapes ont pris leur place. Elles sont nombreuses, car il en faut une pour le gaz, une autre pour le mélange, quelquefois une pour l'air, toujours une pour l'échappement; dans les moteurs à allumage par incandescence, il y a de plus presque toujours une soupape mettant le tube en communication avec la chambre d'explosion. Chacune de ces soupapes a sa came ou son bossage spécial, dont le réglage est indépendant. Ces diverses soupapes ont été placées différemment suivant les époques : longtemps la soupape de décharge a été placée sur le côté



du cylindre, les autres étant disposées sur la culasse du cylindre; aujourd'hui on tend à les réunir en ce point. Leurs tiges sont horizontales ou verticales. En ces derniers temps, l'imitation raisonnée des machines à vapeur à soupape genre Sulzer a amené à faire prévaloir ces dernières, qu'on attaque par-dessus et par-dessous le cylindre. On le voit, il y a eu diverses phases dans l'histoire de la construction des moteurs à quatre temps.

Redirons-nous qu'on se copie beaucoup en moteurs à gaz? Malgré cela, on observe que les mécaniciens des divers pays ont obéi à des tendances particulières. Il est intéressant de faire ressortir les caractéristiques nationales de la construction française, anglaise, américaine et allemande et de compléter ce que nous en avons dit précédemment.

Nos ingénieurs français, dont le génie inventif et l'initiative féconde a enfanté beaucoup de modèles originaux, ont montré plus d'esprit de recherche que de savoir-faire, plus d'ingéniosité que de sens pratique, des aptitudes plus créatrices que commerciales. On a trop inventé chez nous; on ne s'est pas assez occupé de bien construire pour bien vendre et d'être en mesure de vendre à bon marché.

Les moteurs français de Lenoir, de Ravel, de Bénier, de Delamare-Deboutville et Malandin, de Niel, de Charon, de Letombe, de Forest, de Gardie, etc., étaient des œuvres personnelles et non pas des adaptations, des modèles et non pas des copies, des choses neuves et non pas des vieilleries démarquées; les inventeurs avaient le droit d'imposer leur nom aux cycles d'opérations qu'ils imaginaient et aux mécanismes qu'ils dessinaient. Une théorie lumineuse guidait généralement leurs efforts; mais ils cherchaient trop à en extraire la quintessence. Il en résultait que souvent on se trouvait conduit à des modes complexes et à des organes délicats; on aboutissait à des résultats satisfaisants comme consommation et régularité, mais les machines coûtaient cher, étaient d'une construction délicate et d'un entretien difficile; le rendement thermique du moteur était bon, mais on ne surveillait pas toujours d'assez près le fini du travail et la qualité des matériaux de construction, fers, acier, fontes et bronzes. On avait des accidents, des ruptures d'arbres, des fentes de cylindre, des grippements d'organes. On organisait de sérieuses entreprises, sans ménager les capitaux, mais le rendement commercial de l'affaire restait désastreux et l'on ne s'enrichissait pas à ce métier. L'étranger ne ménageait pas les applaudissements, mais il n'achetait pas de licences d'exploitation: il avait des vues plus pratiques.

Bien plus simple, plus terre à terre, mais aussi plus industriel était le concept des mécaniciens anglais. Crossley avait établi un moteur Otto qui fonctionnait bien; il était robuste, durable, assez économique, bon marché et par suite d'une vente facile; que fallait-il de plus à des gens pratiques? Une consommation très réduite était à l'arrière-plan de leur programme; que le moteur consomme 700 litres au lieu de 450, peu importe, pourvu qu'on puisse le construire par série, le mettre entre n'importe quelles mains, l'expédier dans les colonies les



plus lointaines, ne s'exposer à aucun reproche de l'acquéreur et le vendre par ses agents en grande quantité. Les Anglais copiaient donc le type primitif sans y mettre grand amour-propre. Pour ne courir aucune aventure, on s'en tenait à des compressions modérées, on réglait la vitesse par les moyens les plus simples, presque toujours par tout ou rien (*hit and miss*), et l'on abordait les grandes puissances avec une prudence extrême. On s'attachait particulièrement à n'employer que des métaux excellents. On construisait en série; les organes étaient interchangeable. Ce procédé a réussi aux grands constructeurs de Manchester, de Birmingham, de Stockport, etc., etc.; des milliers de moteurs sont sortis de leurs ateliers, dont l'importance n'a cessé de croître et les bénéfices d'augmenter.

L'Américain est moins théoricien encore que l'Anglais, mais il a plus d'idées que lui, idées de contremaitre, le plus souvent, inventions d'ouvrier mécanicien, c'est vrai, mais de mécanicien expert et ingénieux et d'ordinaire bien avisé. Habitué à gaspiller les gaz naturels, l'industriel américain s'arrête peu à la consommation; résigné à amortir rapidement ses frais d'installation, il recherche surtout le bon marché; il donne la préférence aux organismes les plus simples, de surveillance aisée et de conduite facile. Le moteur américain a sa physionomie propre: il franchit rarement l'Atlantique; par contre, nos moteurs européens trouvent peu de clients là-bas.

C'est l'Allemagne qui a certainement montré le plus de savoir-faire. Otto lui avait donné une remarquable avance, dont elle a largement profité durant plusieurs années; entre temps, elle observait avec soin ce qui se faisait autour d'elle; elle avait le temps d'attendre. Ses ingénieurs sont à la fois des théoriciens avertis, des praticiens habiles et des hommes d'affaires: ils ont discuté et analysé les produits du génie français, soumis à l'épreuve d'essais répétés les machines anglaises, et puis ils ont cherché à disputer leurs clients aux grands importateurs du Royaume-Uni, en construisant moins bien qu'eux peut-être des moteurs qui ne marchaient pas moins bien et ne coûtaient pas plus cher. Pendant assez longtemps, les productions allemandes ont été peu remarquables: on se traînait à la remorque du passé; mais en procédant avec méthode, on aboutit toujours. Les hautes compressions, qui élèvent le rendement, augmentent la puissance des machines et réduisent leur prix, ne peuvent être appliquées avec succès qu'à la condition de refroidir judicieusement les culasses et les soupapes, de bien dessiner leurs formes, d'atténuer la richesse des mélanges tonnants, d'assurer leur combustion complète, d'opérer des mises de feu efficaces, etc.; tout cela a été patiemment observé, longuement raisonné et profondément étudié. Les cylindres ont été faits en deux pièces, l'intérieur en fonte dure, l'enveloppe en acier, le tout se dilatant librement; les soupapes d'admission et d'échappement ont été construites avec un soin extrême; elles ont été placées verticalement l'une au-dessus de l'autre pour permettre de les refroidir par une circulation indépendante de celle du cylindre; le constructeur y trouvait



de plus l'avantage de pouvoir aléser leurs sièges et les guidages des types d'un seul coup, avec une grande précision. Les magnétos d'allumage perfectionnées en Allemagne, ont fourni une étincelle chaude et nourrie, qui ne permettait plus de ratés. Les volants ont été supportés par trois paliers, les manivelles bien équilibrées; les paliers ont reçu des graissages perfectionnés, etc., etc. Ces divers dispositifs n'ont pas tous été inventés de l'autre côté du Rhin, mais on les y a essayés, modifiés, perfectionnés, agencés avec une grande connaissance des effets à obtenir. Considérant que, dans les moteurs à gaz, la condition d'économie de calories est moins essentielle que celle de l'absolue sécurité de fonctionnement, on a subordonné la première à la seconde, et l'on a adopté des formes qui n'ont pas seulement l'apparence de la stabilité et de la robustesse, mais qui en possèdent la réalité. On a abandonné le cylindre en porte à faux pour un modèle, dans lequel le cylindre repose par toute sa longueur sur un bâti à grand empattement; l'ensemble est compact; tous les supports de l'arbre de distribution sont fixés sur ce solide bâti, et la culasse est rendue indépendante. On a créé ainsi un *modèle allemand*, d'architecture massive, mais qui respire la force et réalise de nombreuses et indiscutables commodités. C'est ainsi que sont nés ces moteurs que l'on admirait aux Expositions et dont nos maisons de construction adoptaient le type et se disputaient les licences.

Ces aperçus synthétiques préparent nos lecteurs à l'étude des monographies que nous allons faire des principaux moteurs, et serviront de lien à un travail qui, nécessairement, manque de suite dans son exposé; elles nous dispenseront de bien des redites qui seraient fastidieuses.

### 1. Moteur Otto.

A tout seigneur, tout honneur! En réalisant l'idée géniale de Beau de Rochas, Otto a pris la tête de la construction des moteurs à gaz : il l'a tenue longtemps.

Le premier brevet Otto porte la date du 9 juin 1876; dès l'année 1877, un nouveau brevet complétait la spécification précédente et introduisait dans le moteur quelques perfectionnements qui avaient principalement pour objet d'assurer un meilleur allumage du mélange tonnant.

Otto poursuivait une idée : il pensait qu'il fallait ralentir la combustion explosive du mélange tonnant pour diminuer sa température maximum et réduire ainsi l'influence nuisible des parois, qu'il concevait par intuition. La chambre de compression conservait une partie des gaz brûlés de la cylindrée précédente; il y avait donc dilution dans cette masse inerte du mélange combustible frais formé par le tiroir et introduit dans le cycle durant la période d'aspiration : c'était bien ce qu'on voulait. Mais ce mélange aurait pu devenir incombustible, bien que l'allumage se fit au dard de flamme et non plus à



l'étincelle; ce résultat eût été désastreux. Pour obvier aux inconvénients d'une dilution exagérée, Otto dut recourir à un artifice particulier; il chercha à stratifier, par couches de plus en plus combustibles, le mélange tonnant derrière le piston. A cet effet, le piston aspire d'abord le mélange d'air et de gaz par la lumière du tiroir; le gaz, étant obligé de traverser un diffuseur, dont les dimensions sont proportionnées au dosage voulu du mélange, forme un mélange tonnant qui se mêle au résidu de l'opération précédente et constitue, en somme, un mélange pauvre; ces gaz avancent dans le cylindre à la suite du piston. Le tiroir continue cependant de fournir son mélange de gaz et d'air; il se forme donc une seconde couche plus riche que la première. Enfin, le tiroir est fait de telle sorte que l'admission d'air cesse avant l'admission de gaz; d'où production d'une troisième couche très riche. On peut croire qu'il existe derrière le piston un mélange hétérogène de richesse croissante vers la culasse du cylindre; le dard de chalumeau jaillit dans la partie la plus riche du mélange, l'enflamme infailliblement et la combustion se propage de proche en proche en produisant ce *nachbrennen*, cette combustion lente et progressive, que l'inventeur voulait obtenir.

Il l'a réalisée, on ne saurait le nier.

Mais cette combustion ralentie était-elle avantageuse?

Cette question soulève les plus graves difficultés de la théorie de la combustion et du rendement des moteurs. Rappelons d'abord que la combustion ralentie constitue une déformation indéniable du cycle; c'est donc une cause d'abaissement du rendement. Par contre, la diminution de la température explosive réduit indiscutablement l'influence des parois. Ces deux effets pourraient se compenser, si l'on était bien sûr d'effectuer une combustion complète et entière avant la fin de la détente, et de ne pas rejeter à la décharge des calories inutilisées. En somme, le *nachbrennen* cherché et réalisé par Otto ne paraît pas avoir été la cause du remarquable succès de son moteur; sans opérer de dilution exagérée, ceux qui ont adopté les quatre temps ont obtenu d'aussi beaux résultats que lui; ceux qui ont fait plus de compression préalable que lui ont même réalisé d'emblée des rendements supérieurs aux siens, et cela sans chercher à stratifier dans le cylindre des couches de richesse croissante depuis le piston jusqu'à l'appareil d'allumage.

Pour ce qui est de cette prétendue stratification, elle était fictive; la diffusion de l'hydrogène et des carbures est spontanée et très rapide dans l'air et le mélange des veines est complété par l'agitation produite par le retour du piston sur lui-même et par la compression du mélange. Les ingénieurs de Deutz ont défendu cette hypothèse avec une ténacité toute allemande; ils s'y sont longuement attardés, mais cette obstination n'a pas été heureuse, puisqu'ils ont finalement dû reconnaître leur erreur et faire comme tout le monde, c'est-à-dire comprimer le mélange dans la culasse, sans essayer de faire aucune stratification. Tout cela, c'est l'histoire d'un passé lointain; aujourd'hui la théorie des tranches



est parfaitement oubliée, mais nous avons cru devoir lui consacrer ce souvenir, qui est nécessaire à l'intelligence des premiers moteurs Otto, à tiroir.

Ces machines constituaient, à tout prendre, une œuvre remarquable : les résultats qu'elles fournissaient étaient inconnus jusque-là, et le succès étonnant qu'elles obtinrent était mérité. Il s'en vendit, en dix ans, plus de 30.000 dans tous les pays du monde, par la maison Otto, de Deutz, et par ses nombreux concessionnaires, parmi lesquels nous citerons la Compagnie française des moteurs à gaz, MM. Crossley Brothers and C<sup>o</sup> de Manchester, la maison Fétu-Defize de Liège, MM. Schleicher-Schumm de Philadelphie.

Ces maisons ne furent pas seulement des exploitants de licences, mais encore d'intelligents collaborateurs, qui apportèrent un concours efficace à l'œuvre commune : le moteur Otto leur dut d'intéressants perfectionnements de détail.

Pendant plusieurs années, il n'eut pas de concurrents sérieux.

L'unique reproche qu'on lui faisait alors c'était qu'il manquait de régularité, par suite de sa marche à quatre temps : les ingénieurs de Deutz ont répondu à cette critique, très exagérée du reste, en donnant quelquefois une faible inclinaison à leurs cames d'admission et en les disposant de telle sorte qu'il y ait admission de gaz à chaque coup; en d'autres termes, ils ont sacrifié dans certains cas le principe du *tout ou rien* et ils préludaient aux admissions variables.

On travaillait alors incontestablement dans des conditions un peu moins favorables et la consommation augmentait légèrement, mais on supprimait les *à-coup* et le moteur gagnait en régularité; sa marche devenait plus douce et plus silencieuse. On a pu de la sorte employer des moteurs à un cylindre pour actionner directement des dynamos en vue d'alimenter des lampes à arc, voire même des lampes à incandescence, sans exagérer outre mesure la vitesse de régime et la masse des volants.

Mais il valait mieux employer des moteurs à deux cylindres, quand on voulait faire de l'éclairage par incandescence : on accouplait donc deux moteurs, de manière à ce que leurs manivelles motrices fussent parallèles, ce qui donnait un coup par tour. La distribution s'opérait alors par deux tiroirs conjugués, disposés de manière à ce que l'admission dans un des cylindres coïncidât avec la compression dans l'autre; les soupapes d'échappement étaient commandées par deux leviers et la soupape de régulation par deux cames; l'emploi de ces deux cames permettait de faire marcher au besoin un seul des deux moteurs.

Les ingénieurs d'Otto abordèrent lentement la construction des machines de grande puissance; leur ingénieux tiroir à double fonction d'allumage et de distribution s'y prêtait mal; il prenait alors des dimensions trop considérables, il chauffait, se déformait, manquait d'étanchéité et son entretien devenait difficile. Il avait surtout le grand défaut de ne pas permettre les hautes compressions, et c'était là son vice capital. On se voyait déjà obligé d'y renoncer pour les moteurs de 30 à 40 chevaux. On créa donc un type nouveau, à soupapes



pour l'admission et la décharge, en suivant l'exemple qui venait de la maison Crossley; vers le même temps, on inaugura l'allumage électrique, mais on n'y persévéra pas, car on donna bientôt la préférence aux tubes incandescents.

A l'Exposition de Paris de 1889, parut le grand moteur de 100 chevaux à quatre cylindres de 340 millimètres de diamètre et 0 m. 60 de course, à 120 tours par minute. Cette machine avait le défaut de couvrir un espace énorme, mais elle était d'une régularité parfaite; à chaque demi-tour du volant, les

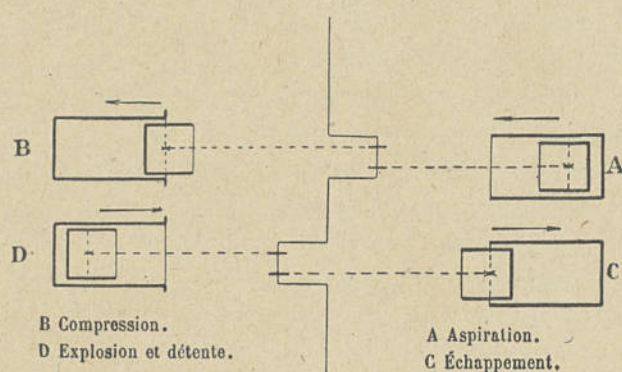


Fig. 165. — Moteur Otto à quatre cylindres.

quatre opérations du cycle étaient reproduites dans les quatre cylindres A, B, C et D comme le fait voir le schéma ci-dessous de la figure 165.

On ne comprimait toujours qu'à 4 kg. 5; aussi la consommation n'était-elle pas moindre que de 750 litres d'un bon gaz de ville à 5.500 calories.

En 1900, on exposait à Paris un moteur de 500 chevaux, à deux cylindres, de 840 millimètres de diamètre et 1 m. 050 de course. A Dusseldorf, en 1902, on faisait 1.200 chevaux par quatre cylindres : la machine pesait 220 tonnes; ce poids nous paraît énorme, mais il faut reconnaître qu'à cette époque les monocylindriques étaient plus lourdes encore.

Pour mémoire, nous donnons ci-dessous les dimensions caractéristiques des puissants moteurs de la maison Otto de cette époque :

|                                       |              |             |
|---------------------------------------|--------------|-------------|
| Nombre de cylindres.....              | 4            | 4           |
| Diamètre des cylindres.....           | 660 mm.      | 900 mm.     |
| Course du piston.....                 | 0 m. 75      | 1 m. 10     |
| Diamètre du tourillon du coude.....   | 220 mm.      | 370 mm.     |
| Nombre de révolutions par minute..... | 150          | 120         |
| Poids du moteur sans volant.....      | 87,9 tonnes. | 161 tonnes. |
| — du volant.....                      | 18 —         | 30 —        |
| — par cheval, sans volant.....        | 146 kg. 5    | 134 kg. 2   |

Un moteur de 600 chevaux couvrait un espace de 9 m. 85 sur 6 mètres, soit environ 59 mètres carrés; celui de 1.200 chevaux avait 13 m. 60 de longueur et 8 m. 50 de largeur totale, ce qui fait une surface d'encombrement de près de 113 mètres carrés; ces chiffres sont intéressants à relever, par comparaison avec les machines actuelles, à double effet, utilisant les gaz de hauts fourneaux.

Ce type, mis à l'étude vers 1902, mérite d'arrêter notre attention.

La forme générale est celle qui tend à être adoptée par tous les constructeurs; elle se rapproche de plus en plus de celle des machines à vapeur à soupapes. Le piston est parfaitement guidé à l'avant par une crosse s'appuyant



par une large glissière sur un coulisseau cylindrique; sa tige se prolonge à l'arrière, traverse le stuffing-box et se trouve elle-même encore soutenue par une petite glissière. L'arbre à demi-vitesse est placé très bas contre le bâti; ses cames font mouvoir les leviers de commande des soupapes de distribution par les leviers inclinés qu'on est habitué de voir dans bon nombre de moteurs récents.

Ces deux soupapes sont installées verticalement l'une au-dessus de l'autre : la figure 166 permet de se rendre compte de leur disposition relative. La soupape de mélange, celle de gaz et l'obturateur cylindrique de l'arrivée d'air sont portés par une même tige verticale, constamment rappelée vers le haut par un puissant ressort en spirale surmonté d'un dashpot : la composition du mélange tonnant est donc invariable.

Mais la quantité de mélange admis est placée sous la dépendance du régulateur, et le procédé mécanique qui assure ce résultat est fort intéressant par sa simplicité et par la sécurité de son fonctionnement. Le renvoi qui transmet le mouvement du levier incliné à la tige des soupapes est constitué par un levier du premier genre, dont le point d'appui est variable et se trouve déplacé par le régulateur lui-même; la longueur des bras de levier se modifiant, la hauteur de levée des soupapes change; elle diminue au fur et à mesure que le travail à développer devient moins considérable. Le régulateur du système Hartung opère sans difficulté, par une série de tringles, ce déplacement du point d'appui le rapprochant de l'axe des soupapes dès que la vitesse tend à s'accélérer : comme il ne faut agir qu'en période d'aspiration, le régulateur n'a à intervenir que durant un demi-tour sur deux et il garde sa liberté. Son rôle consiste à faire rouler un galet le long du levier.

On voit représenté sur la figure 167 ce type de distribution. Le levier AB, mobile autour de A, repose sur la tête de la tige de la soupape, qui s'ouvre de haut en bas sous l'action d'une poussée verticale : cette poussée est opérée par le bras CDF mobile autour de l'axe D, actionné par la tringle EC. Entre AB et CDF roule un galet G, attaché à la bielle JG, mise en mouvement par

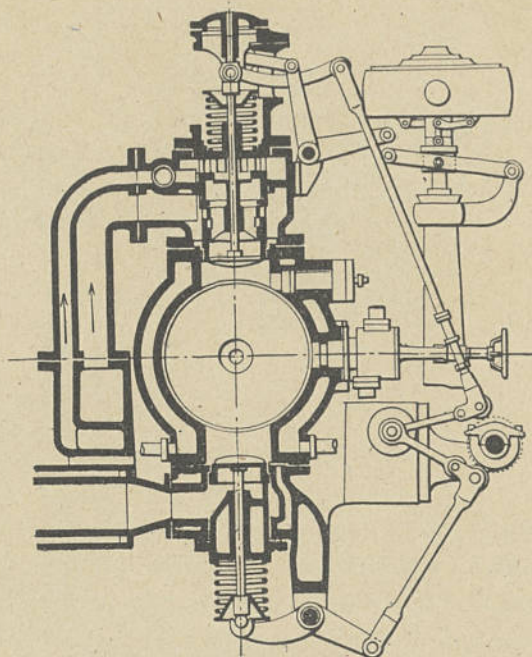


Fig. 166. — Distribution Otto à soupapes.



un jeu de leviers et de tringles, commandés par le régulateur R. Plus le galet se rapproche de A, plus grand est le bras de levier DG par rapport à CD, et plus se lève la soupape. L'effort demandé au régulateur est très faible et la réaction exercée sur lui ne peut troubler son équilibre.

Cette disposition est assurément une des meilleures qui aient été imaginées : elle est simple et même élégante; son fonctionnement est excellent. Elle donne un réglage quantitatif.

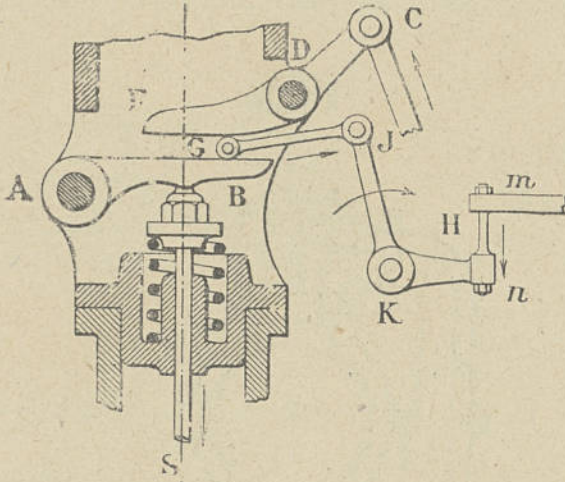


Fig. 167. — Galet de roulement Otto.

Le type Otto actuel est encore à réglage par admission et compression variable d'un mélange de composition maintenue aussi constante que possible. Mais des dispositifs variés ont été essayés et nous serions en peine de dire lequel se trouve définitivement adopté.

Il existe un type assez répandu, dans lequel une came, montée sur l'arbre de distribution, donne un mouvement uniforme à la soupape d'admission; celle-ci actionne par sa tige la soupape de mélange, qui est à double siège et admet l'air par le siège supérieur, le gaz par le siège inférieur. Lorsque la soupape d'admission s'abaisse, celle de mélange s'élève, d'une levée variable dépendante du régulateur; sa course commence et finit toujours de même, mais la variation de la levée modifie la quantité admise, la qualité ne changeant pas. Un papillon est logé dans la conduite d'air; dans la conduite de gaz, une soupape, dont la position est déterminée par la manœuvre d'un volant à main, limite à volonté l'afflux du gaz. Tout cet ensemble est assez complexe.

Plus simple est la disposition adoptée pour les puissants moteurs, de plus de 1.000 chevaux. Et d'abord, les deux soupapes d'admission, placées aux extrémités d'un cylindre, sont alimentées par une soupape de mélange unique, située au milieu de leur distance : on est assuré de la sorte d'obtenir le même dosage pour les deux coups moteurs, mais l'action du régulateur est moins rapide et moins efficace. La variation de la quantité de mélange admis est réalisée par une variation de course produite à l'aide d'un levier à point d'appui mobile; le régulateur agit sur la soupape d'air, mais celle-ci est reliée à la soupape de gaz par un jeu de leviers. Les soupapes d'admission ne sont point ouvertes par la came de distribution, mais elles sont au contraire maintenues



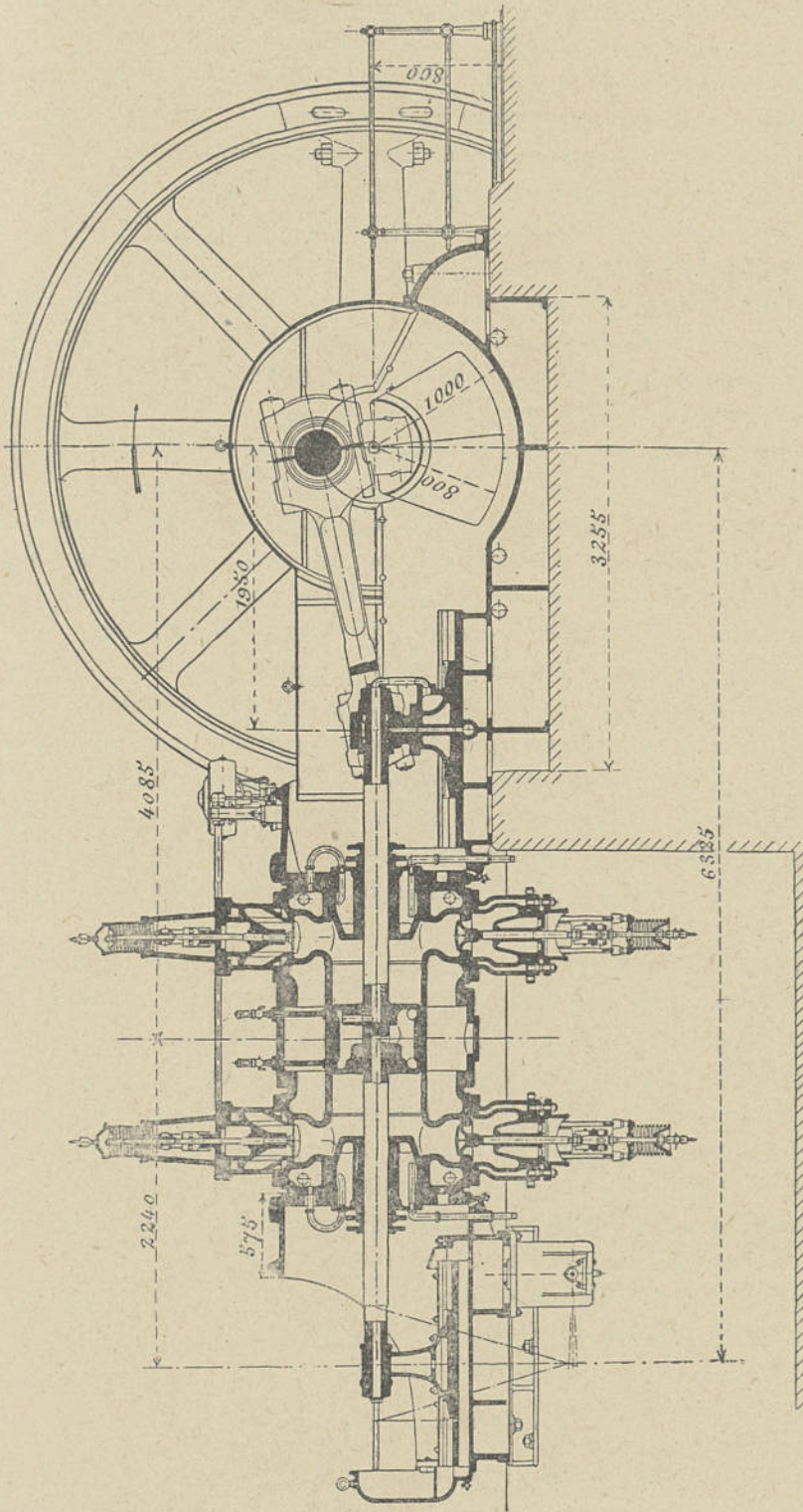


Fig. 168. — Moteur Otto à double effet.



fermées par celle-ci : toutefois une échancrure de cette came libère à un moment donné les soupapes, qu'un puissant ressort soulève alors.

De la sorte, la levée est toujours la même. La jonction du levier de commande et des tiges de soupapes est opérée par l'intermédiaire de deux biellettes et d'un ressort destiné à compenser le jeu. La soupape d'admission ne peut s'ouvrir sous l'action de la dépression produite dans le cylindre.

La figure 168 donne une vue d'ensemble d'un moteur Otto de ce genre, et une coupe par le cylindre.

Le cylindre des grands moteurs est en cinq pièces; les orifices d'admission et d'échappement sont ménagés dans des parties annulaires qui laissent à l'enveloppe une grande liberté de dilatation. Ces deux orifices sont situés sur un même axe vertical.

La tige du piston est fortement soutenue par deux crosses, appuyées sur de larges glissières

Les soupapes de décharge présentent une innovation intéressante. Dans le but de réduire l'énorme effort nécessaire pour les soulever, dans les machines de 1.100 millimètres de diamètre de cylindre, elles sont percées d'un canal, qui égalise la pression au-dessus et au-dessous du disque d'obturation.

Dans le but de dégager les soupapes d'échappement et de les rendre plus accessibles, les cylindres reposent sur de larges pattes, venues de fonte avec l'enveloppe. La mise en route est opérée à l'air comprimé par un procédé original : l'air entre dans le cylindre par les soupapes d'admission; pendant que s'effectue le démarrage, le fonctionnement se fait à deux temps. Un vireur électrique amène la manivelle dans la position voulue pour obtenir un bon départ; mais un déclanchement automatique s'effectue de lui-même aussitôt que la machine tourne par ses propres moyens.

Depuis la guerre, les ateliers de Deutz ont conclu un arrangement avec la Société d'Augsbourg-Nuremberg, en vertu duquel ils lui concèdent la construction des machines d'une puissance supérieure à 700 chevaux : ils ne dépassent plus 175 chevaux, par un cylindre de 620 millimètres d'alésage et 0 m. 750 de course, réglé à 187 tours. En accouplant quatre cylindres, on obtient ainsi 700 chevaux. On a développé, par contre, la construction des moteurs compris entre 20 et 700 chevaux et on en sort 300 par semaine. La dépréciation du marc allemand permet de les livrer à l'étranger à des prix qui défient toute concurrence, en dépit des barrières douanières.

Les moteurs Otto sont représentés en France par la Société des moteurs à gaz et d'industrie mécanique et par M. Jean Valcke.

## 2. Moteur Crossley.

C'est à MM. Crossley frères, d'Openshaw (Manchester), qu'avait été accordée l'exploitation du moteur Otto en Angleterre, mais ils en construisaient déjà



en 1868, donc bien avant que le moteur Otto ne fut né. Ils lui portèrent bonheur, attendu qu'en 1889, la Compagnie allemande n'avait vendu que 7.000 machines, alors que le concessionnaire anglais avait dépassé le nombre de 21.000; ces chiffres font ressortir la part considérable qui revient à la maison Crossley dans les progrès des moteurs à gaz. C'est elle qui avait, la première, supprimé le tiroir pour le remplacer par une soupape et un tube incandescent; une compression énergique et une grande vitesse de régime lui avaient permis de réduire considérablement la dépense de gaz, d'augmenter la puissance des machines et de baisser leurs prix.

MM. Crossley avaient donc acquis le droit d'inscrire en devise sur leur élégant catalogue : « *These engines are the result of nearly 30 years experience and experiments.* » Leurs longs et patients efforts étaient couronnés par le plus beau succès : la maison de Manchester est restée longtemps à la tête de la construction européenne des moteurs à gaz.

MM. Crossley mentionnent sur leurs prospectus des modèles divers de moteurs, d'une puissance comprise entre 3 et 350 chevaux par un cylindre, sans compter quelques types plus spéciaux appliqués à la commande des soufflantes.

Nous allons passer rapidement en revue ces types si variés de machines, qui ne diffèrent guère les unes des autres que par l'agencement plus ou moins ingénieux de leurs organes.

Le premier type horizontal créé par MM. Crossley est resté longtemps classique; il a été imité ou copié par un grand nombre de constructeurs qui n'en ont souvent modifié les détails que pour mieux déguiser leurs plagiat; c'était reconnaître qu'on désespérait de perfectionner le modèle.

Dans ces anciens moteurs, la distribution est effectuée par plusieurs soupapes auxquelles est individuellement dévolue la fonction de l'admission du gaz et du mélange, et de la décharge des gaz brûlés : elles sont commandées par l'arbre à cames faisant un tour pour deux et actionnant des leviers. Cet arbre de distribution reçoit le mouvement de l'arbre moteur par l'intermédiaire de roues hélicoïdales taillées à la machine à fendre, qui assurent une marche très silencieuse. L'allumage est opéré par un tube incandescent en porcelaine, dont la disposition est très bien étudiée; à partir de 6 chevaux, la mise de feu est réglée par un obturateur (*timing ignition valve*), mettant la chambre de compression en communication au moment voulu avec le tube, et permettant ainsi de donner à l'allumage l'avance convenable.

Les petits moteurs verticaux et le modèle horizontal de un à deux chevaux portent seuls des régulateurs d'inertie; tous les autres sont munis de régulateurs à boules; MM. Crossley emploient de préférence un régulateur pourvu d'un ressort, permettant d'opérer en marche une modification de la vitesse en tournant un écrou; nous décrirons cet appareil plus loin.

Les régulateurs sont à axe vertical ou horizontal; cette dernière disposition,



que MM. Crossley semblent préférer, économise une paire d'engrenages : ces régulateurs sont, en effet, actionnés directement par un seul pignon, engrenant dans la roue clavetée sur l'arbre de couche. Ils sont à action rapide et ne subissent d'aucune façon les variations dues à l'inertie ou à la résistance des pièces à mouvoir. Dans ces moteurs, le régulateur n'a d'autre rôle à remplir que de venir intercaler entre un butoir et sa butée une pièce mobile, qui transmet la poussée de l'un à l'autre, sans faire travailler le régulateur; la butée n'est immobilisée qu'un moment. Le butoir est mû par une came montée sur l'arbre de distribution; la butée est portée par la soupape d'admission du gaz combustible. Cet agencement opère par admission *du tout ou rien*.

Sauf la soupape d'échappement, qui est disposée en dessous du cylindre, toutes les autres sont à axe horizontal; elles sont habilement groupées, facilement accessibles et instantanément démontables, attendu que les obturateurs qui recouvrent les boîtes sont à joints dressés, de métal sur métal; leurs tiges de fort diamètre leur assurent un guidage parfait; l'extrémité des leviers d'attaque a une forme rationnelle qui produit une levée progressive et une retombée très douce. Il n'y a plus de joints d'amiante que pour les fonds de cylindre.

La vitesse de rotation est assez grande, comme le veut la théorie, sans être excessive, même pour les moteurs à éclairage électrique; les dimensions des cylindres sont donc assez réduites. Ainsi un moteur de 8 chevaux, faisant 270 tours par minute, a un diamètre de cylindre de 14,5 centimètres et une course de piston de 0 m. 380.

Les cylindres Crossley sont en deux pièces; la chemise intérieure est démontable et elle est coulée en fonte dure; elle s'use donc peu et son remplacement est d'ailleurs aisé. Cette construction du cylindre permet d'obtenir des fontes serrées et parfaitement saines, ainsi qu'elles doivent l'être; on évite les soufflures qui se produisent si souvent dans les pièces à noyaux : enfin, les cylindres ne sont pas exposés à se fendre à la suite de retraits de fonderie ou de dilatations anormales. Il est vrai que ce dispositif exige un joint sur le fond, qui donne des ennuis quand il est mal fait, parce qu'il laisse alors pénétrer de l'eau de l'enveloppe dans la culasse du cylindre : cet accident est heureusement fort rare.

La maison Crossley fait profession de ne pas rechercher une économie sensationnelle de gaz au prix d'une compression exagérée : elle considère la compression de 7 kilogrammes comme un maximum pour le gaz de ville, et ses agents répètent à la clientèle que mieux vaut dépenser quelques litres de gaz de plus que de compromettre la durée des machines ou de grever leur entretien de frais de piston et de cylindre. Cette thèse peut se défendre, mais il ne faudrait pas en outrer les conséquences.

Les têtes de bielle présentent une disposition spéciale empêchant tout desserrage des écrous : il importe en effet de se précautionner contre un accident de ce genre, dont les conséquences sont redoutables; c'est indispensable



pour des moteurs qui sont appelés à marcher continûment de longues heures de suite, sans arrêts. Ces périodes prolongées de service imposent aussi l'emploi de modes de graissage à bague, permettant de ne renouveler l'huile qu'au bout de plusieurs jours, et d'assurer un graissage continu; tous ces détails sont bien étudiés dans les moteurs Crossley.

A partir de 8 chevaux, ces moteurs sont pourvus d'un appareil destiné à empêcher une marche en arrière (*safety starting gear*), lors de la mise en route; voici en quoi il consiste. Tous les constructeurs ont emprunté à Otto le moyen de diminuer la compression, durant le premier lancé à bras, en substituant une came spéciale à la came qui commande l'échappement en ordre de marche : cette substitution s'effectue en faisant glisser sur l'arbre de distribution un manchon à deux cames. Or, en déplaçant ce manchon, on déplace du même coup celui qui porte les bossages actionnant la soupape d'allumage et l'on opère un allumage retardé tant que dure la demi-compression. La mise de feu s'effectuant alors seulement que la manivelle a déjà dépassé le point mort, et qu'elle a pris une inclinaison d'au moins 20°, tout retour en arrière est impossible. Le procédé est simple et ingénieux.

L'application des moteurs à la commande des dynamos ayant amené les constructeurs à développer considérablement le diamètre et la masse des volants, il est devenu nécessaire de soutenir par un contrepalier l'extrémité de l'arbre qui portait cette lourde charge. Ici encore MM. Crossley ont été de l'avant et ont eu de nombreux imitateurs.

Les détails que nous venons de relever appartiennent à des moteurs qui ne se construisent plus, mais qui existent encore et sont en marche dans de nombreuses usines; les moteurs Crossley ont en effet la vie dure, et j'en connais qui ont de longs états de service.

Mais les chefs de la maison de Manchester ne cessaient d'être à l'affût de toutes les nouveautés et ils ne manquaient aucune occasion de perfectionner leur œuvre.

Secondés par M. Atkinson, dont les inventions ont grandement contribué aux progrès des moteurs à gaz, MM. Crossley frères ont créé en 1896 un nouveau type de moteur, caractérisé par un procédé original de balayage des produits de la combustion : ce genre de moteurs a reçu le nom de *Scavenging Engine*. Jusqu'ici on assurait l'expulsion complète des gaz brûlés hors du cylindre à l'aide de pompes, de pistons auxiliaires, de chasses d'air et d'autres appareils, tous compliqués et coûteux; M. Atkinson réalise son but par un dispositif d'une simplicité remarquable en adaptant au moteur un très long tuyau d'échappement en ligne droite, présentant une vingtaine de mètres de développement (1).

La distribution subit une modification : les deux soupapes d'admission

1. Les Allemands désignent ces machines par les mots *motor mit absaugung* qui sont très suggestifs.



et de décharge sont ouvertes en même temps, pendant un quart de tour. Ce sont les seuls changements apportés à la distribution.

Le fonctionnement du moteur est facile à comprendre. Quand la décharge s'ouvre, il règne dans le cylindre une pression d'au moins 2 kilogrammes : les gaz prennent donc le chemin de l'atmosphère avec une grande vitesse et une longue colonne gazeuse de produits de la combustion se meut dans le tuyau d'échappement. L'inertie de cette colonne provoque derrière elle dans le cylindre une raréfaction du gaz qui aboutit même à un certain degré de vide. A ce moment, la soupape d'admission livre passage à une charge d'air frais qui balaie le cylindre et en chasse tous les gaz brûlés. Le diagramme de la figure 169, relevé avec un ressort faible, dans le but de marquer avec plus de sensibilité les dépressions qui peuvent se produire dans le cylindre, fait voir ce qui se passe

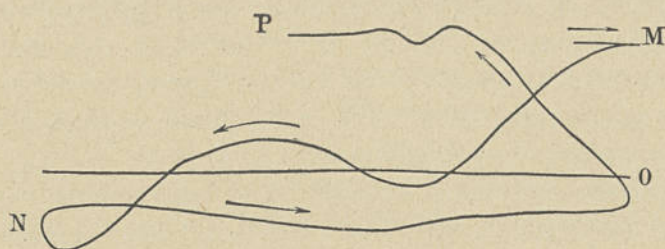


Fig. 169. — Diagramme Crossley de balayage.

derrière le piston : la courbe MN d'échappement, bien qu'ondulée, marque un vide relatif, qui n'est même pas comblé dans la phase NO, et qui produit un appel énergique de l'air du dehors avant l'introduction du mélange tonnant. Les flèches indiquent les mouvements correspondants du piston.

A la fin de la course du piston, le cylindre est donc rempli d'air pur : ce résultat obtenu, la soupape du gaz s'ouvre et, pendant la course d'aspiration, il se forme un mélange tonnant plus riche ; c'est ce que cherchait M. Atkinson. Le cylindre a une forme spéciale, qui favorise le déplacement des gaz brûlés par l'air pur : la culasse présente à cet effet des surfaces arrondies savamment étudiées pour que l'évacuation des produits de la combustion soit complète.

Les avantages théoriques de ce dispositif paraissent indiscutables. Et d'abord, la pression explosive devient plus considérable, par suite de la plus grande richesse du mélange, qui n'est plus dilué dans une aussi grande masse de gaz inertes ; d'autre part, l'afflux de l'air froid réfrigère mieux le cylindre, lequel tolère par suite plus aisément le surmenage auquel les moteurs sont trop souvent soumis ; il n'y a plus de ratés d'allumage, et quand on marche avec du gaz pauvre, de composition et de richesse incessamment variables, les diagrammes sont plus réguliers et plus beaux. Comme conséquence de tous ces faits, la marche des moteurs doit être améliorée et leur puissance est augmentée dans une proportion qui n'est point négligeable.

La consommation par cheval-heure effectif est-elle réellement réduite?



M. Atkinson l'a affirmé dans une conférence faite à la Société des Ingénieurs civils de Manchester et, à l'appui de son dire, il a fourni les documents qui suivent, empruntés à l'essai qu'il a fait d'un moteur de 40 chevaux.

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| Nombre de tours par minute.....   | 173,63    |
| Puissance effective.....          | 39 ch. 91 |
| Consommation par HP effectif..... | 466 l. 8  |
| Rendement organique.....          | 0,86      |

M. Atkinson attribue au gaz d'Openshaw un pouvoir de 5.650 calories; le rendement thermique effectif serait donc de 24 %, ce qui est très satisfaisant, vu la compression effectuée; en travail indiqué, le rendement correspondrait à plus de 28 %, M. Dugald Clerk a relevé, de son côté, sur un moteur de 4 chevaux une consommation de 495 litres non moins intéressante : toutefois, ce savant ingénieur paraissait moins satisfait des résultats obtenus que ne l'était M. Atkinson, et il semble, en effet, qu'on soit revenu un peu sur les appréciations trop enthousiastes de la première heure.

On a reproché à ces moteurs d'être bruyants; le reproche est fondé, et ce défaut provient, sans doute, de ce que les amortisseurs d'échappement et les assourdisseurs habituels ne peuvent être placés qu'à l'extrémité du long tuyau de décharge. Toutefois j'ai lieu de croire que la concurrence exagère le reproche.

On a prétendu aussi que, pour une marche à demi-charge, les résultats seraient moins satisfaisants qu'en pleine charge; il rentrerait, de la longue colonne d'échappement, des gaz brûlés dans le cylindre; ainsi donc, non seulement le balayage ne serait plus effectif, mais encore les appareils qui le produisent nuiraient à la distribution. On aurait évité ces inconvénients en faisant échapper les gaz à travers une caisse munie d'un clapet de retenue, disposé de telle sorte que la vitesse du courant et le refroidissement des gaz produisent le vide dans cette caisse; ce vide aspirerait les gaz brûlés hors du cylindre aussitôt que la soupape de décharge s'ouvrirait; le clapet empêcherait d'ailleurs les retours.

Quoi qu'il en soit de tout cela, nous estimons que le balayage était une très intéressante création, qui pouvait faire naître la critique, mais qui méritait l'attention. Toutefois, il ne semble pas qu'elle ait répondu aux grandes espérances des inventeurs, car le silence s'est fait longtemps sur le dispositif et l'on pouvait croire qu'en somme il ne trouverait que peu d'applications. Cependant, en ces derniers temps, quelques ingénieurs sont revenus à l'idée d'Atkinson, et nous aurons à décrire plus loin de puissants moteurs à gaz de haut fourneau, munis d'un dispositif scavenging, qui auraient fourni d'excellents résultats, dus en partie à cette opération de rinçage.

MM. Crossley ont toujours donné la préférence à la multiplication des cylindres et ils n'ont pas voulu augmenter leurs diamètres au delà d'une certaine limite : c'était sage et prudent; quelques-uns ont trouvé que cette prudence était excessive.



Les moteurs à deux cylindres Crossley sont souvent juxtaposés, mais on les retrouvait plus souvent opposés, à un moment donné, et c'était peut-être une erreur, car ce dispositif exige des fondations excellentes et un fond résistant sur lequel on ne peut pas toujours compter.

Les ingénieurs qui dirigent la maison de Manchester lui ont conservé un prestige mondial, en s'efforçant toujours de tenir ses moteurs à la hauteur de sa réputation; ils les ont perfectionnés successivement et graduellement, sans rien négliger de ce qui constitue un réel progrès, mais aussi en procédant avec ordre et méthode; on les a même accusés d'un excès de méthode, et ils ont été certainement d'une prudence très grande, pour ne pas dire plus, en laissant faire à d'autres les puissants moteurs de 1.000 et de 2.000 chevaux, et en abordant fort tardivement la construction du double effet : comme tous leurs collègues anglais, ils ont été devancés à cet égard par la concurrence allemande. Par contre, ils ont conservé la clientèle des petits et moyens moteurs; la moyenne des 65.000 moteurs sortis des ateliers d'Openshaw, en trente-quatre ans, ressort à 16 chevaux environ : il est possible que cette moyenne s'élève aujourd'hui, puisqu'on a signalé récemment une machine de 600 chevaux à deux cylindres, mais la progression reste lente. Dans ces conditions, il ne faut pas s'étonner de ce que la maison Crossley soit longtemps demeurée fidèle, dans une juste mesure au mode de réglage par tout ou rien, si bien indiqué pour les petits moteurs, et qui avait été amené par elle à un haut degré de perfection.

Néanmoins, à partir d'une puissance déterminée, nous l'avons dit, le réglage par admission variable s'impose, et MM. Crossley ont su se plier aux nouvelles exigences de la construction des moteurs : ils ont donc étudié et mis au point de nouveaux dispositifs.

Un type très simple opère la régulation par un papillon placé dans la tubulure d'admission : la compression diminue avec le travail, mais on cherche surtout à réaliser une marche douce et régulière, et l'on ne se préoccupe pas outre mesure de la dépense.

Mais on veut suivre le progrès et on s'arrête à un modèle théoriquement plus parfait, dont M. Atkinson a rendu compte en 1908 (1). La figure 170 est reproduite d'après cet intéressant travail.

Le réglage est qualitatif.

La soupape d'admission de mélange F et celle de gaz H, sont montées sur un même axe vertical; la première appelée par un ressort G est actionnée par le levier habituel, l'autre H, qui glisse sur la tige de la première, est entraînée par l'écrou M, mais cet écrou ne fait autre chose que de produire une pression sur le ressort K et c'est par cet intermédiaire élastique que s'exerce l'action de M. Or, la soupape à gaz porte à sa partie supérieure un large piston I qui fait le vide derrière lui, quand la soupape quitte son siège. Il y a donc deux

1. James ATKINSON, *The governing and the Regularity of Gas Engines; Institution of mechanical Engineers*, avril 1908.



actions antagonistes qui sont mises en jeu : celle du ressort et celle de ce piston à vide. Cette dernière dépend du vide opéré par le piston. Mais ce vide dépend aussi de la position d'un tiroir J, qui permet une certaine rentrée d'air sous le piston. Le mouvement de la soupape à gaz varie donc avec la position de J ; celle-ci étant déterminée par le régulateur, l'admission de gaz lui est soumise à tout instant.

Cela étant, on peut se rendre compte aisément du fonctionnement de ce système. La soupape de mélange F se lève dès le début de la course du piston ;

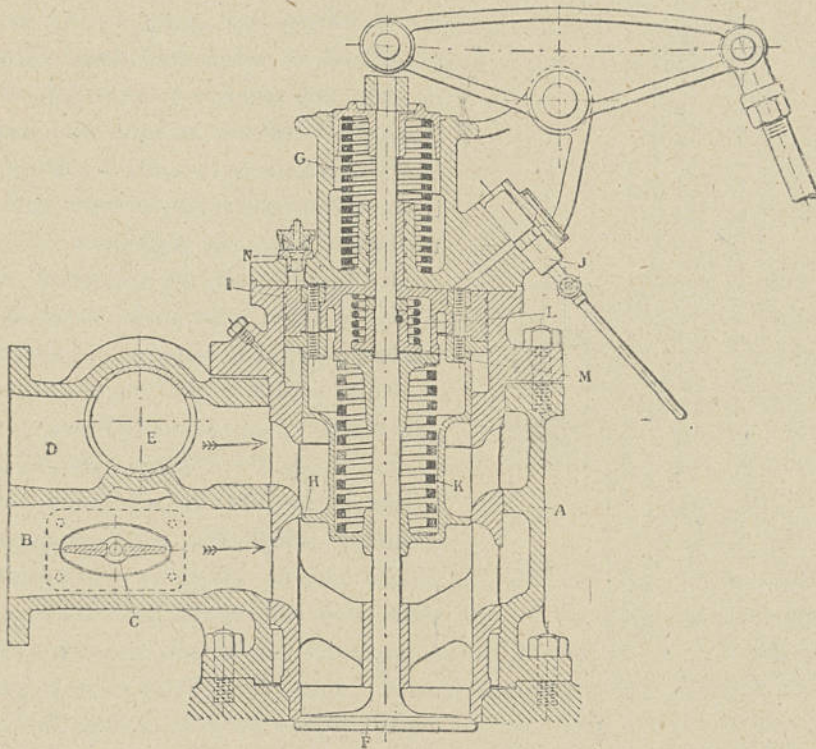


Fig. 170. — Nouvelle distribution Crossley.

la soupape à gaz tend à suivre son mouvement ; toutefois, si son piston fait un certain vide sous lui, elle ne le suit qu'avec lenteur, et elle pourrait même ne pas le suivre du tout, si le tiroir J était entièrement fermé. C'est le cas extrême ; le moteur ne recevrait alors que de l'air. La quantité de gaz admise est donc variable avec la position du régulateur, et la qualité du mélange est déterminée par cet organe. Le ressort L n'a pas d'autre mission que d'empêcher un jeu de se produire entre l'écrou et le piston. Le reniflard N, qui s'ouvre sur le dehors, assure la retombée rapide de F.

Ce système est, dans son ensemble, assez compliqué et il doit être d'une exécution délicate et coûteuse ; mais il faut observer que tous ces ressorts, ainsi que le piston à vide, sont à l'abri du contact des gaz et ne peuvent donc



s'encrasser. D'autre part, le déplacement du tiroir J est très petit et il ne demande aucun travail au régulateur; l'intervention de ce dernier est par suite très rapide, très efficace et elle ne donne lieu à aucune réaction mécanique. Ce sont là des conditions excellentes de fonctionnement et de sécurité.

La régulation obtenue est d'une étonnante précision; d'après M. Nicholson, la puissance développée par un moteur passant instantanément de 600 à 50 chevaux, la vitesse n'a varié que de 119,4 à 121,4 révolutions par minute; l'écart est de 1,66 %.

M. Nicholson ajoute : « *The engine supplyvalves, wich had been adjusted at the commencement of the trial, were not touched or altered in any way while the trials were being made.* » Nous avons tenu à reproduire les termes mêmes du rapport du savant ingénieur.

Le papillon B, logé dans la conduite d'air, se règle à la main, une fois pour toutes, suivant la nature du gaz employé, et il n'y a plus à y toucher, tant que le gaz conserve la même richesse.

Le mode de réglage décrit ci-dessus a été simplifié pour les moteurs de moindre puissance : ce nouveau dispositif repose encore sur l'utilisation du vide pour réduire la levée de la soupape à gaz, et on y retrouve le piston à air I; mais (fig. 171) l'organe qui intercepte l'afflux du gaz combustible est composé simplement d'une pièce conique H, portée par ce piston, percée d'un cer-

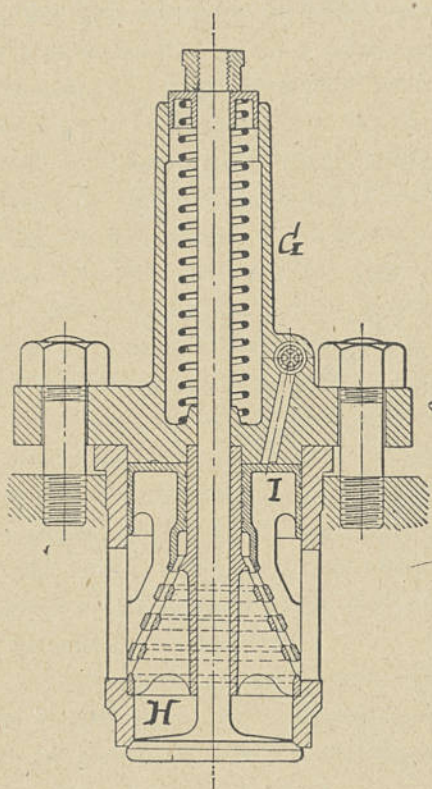


Fig. 171. — Distribution Crossley simplifiée.

tain nombre d'ouvertures circulaires; ce cône s'emboîte sur un autre percé d'ouvertures homologues. Au début de la course du piston moteur, en marche à pleine charge, ces ouvertures se correspondent et le cylindre reçoit du mélange riche; mais si le régulateur permet à l'air de pénétrer sous le piston à vide, celui-ci se lève et les ouvertures sont obturées partiellement; l'arrivée du gaz se trouve ainsi étranglée sous l'action du régulateur. Ce système produit des variations de compression, qui pourraient compromettre l'allumage et la bonne combustion des mélanges fortement dilués : M. Atkinson a été conduit de la sorte à combiner un régime d'admission variable et de réglage par tout ou rien. Il déclare que cette manière de faire donne des résultats aussi économiques que le tout ou rien : le fait est intéressant à relever, ainsi que l'observation de l'éminent



ingénieur, qui ne dissimule pas l'opinion favorable qu'il conserve du tout ou rien.

Ce mode de réglage a été appliqué avec succès à un moteur de 450 chevaux à quatre cylindres, construit spécialement en vue d'une mise d'alternateurs en parallèle : les écarts de vitesse n'ont pas dépassé 1 %.

Une autre innovation originale de MM. Crossley est à signaler dans la construction des soupapes de décharge : elles ont été équilibrées, afin de diminuer le travail énorme absorbé pour leur manœuvre. Il en résulterait une réduction considérable de l'effort à développer; on a fait mieux encore, en adjoignant à la soupape équilibrée une petite valve auxiliaire commandée par le même levier, mais avec une certaine avance; elle ouvre un canal de communication entre le cylindre et la partie inférieure de la boîte à soupape, de sorte que la pression s'exerce déjà sur les deux faces de cette soupape au moment où elle doit être soulevée. La forme de cette soupape a dû être un peu modifiée; sa partie inférieure constitue un piston glissant dans la chambre que la valve auxiliaire fait communiquer avec le cylindre, à la fin de la période de détente.

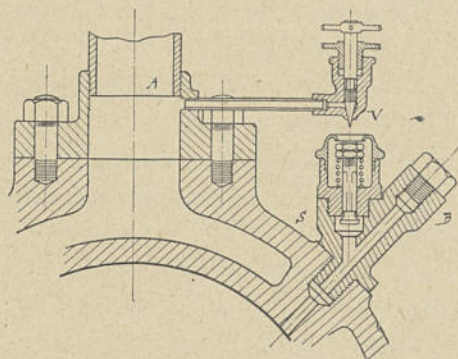


Fig. 172.

MM. Crossley sont aussi revenus à la pratique de l'injection d'eau dans le cylindre : la figure 172 fait voir l'appareil qu'ils emploient. L'eau

est prise sur le tuyau de départ, au sortir de l'enveloppe en A, et elle est débitée goutte à goutte par le robinet à vis V; elle est appelée dans le cylindre à travers la soupape automatique à ressort S, durant la période d'aspiration. L'ouverture B, fermée par un bouchon vissé, permet le nettoyage du canal d'introduction. L'eau injectée se mêle intimement à la charge des gaz et s'y vaporise instantanément, sans humecter les parois, ce qui serait mauvais à tous égards.

Des essais du professeur Burstall de Birmingham, effectués le 25 novembre 1904, sur un moteur de 355,6 millimètres de diamètre et 0 m. 533 de course, ont mis en lumière les heureux résultats obtenus par une injection d'eau opérée dans les conditions ci-dessus. Le pouvoir inférieur du gaz, mesuré au calorimètre Junkers, était de 5.145 calories. L'exposant  $\gamma$  en compression a été trouvé égal à 1,268 et à 1,183 en détente : on admettait 10,2 d'air pour 1 de gaz. La compression atteignait 13 kilogrammes. On introduisait dans le cylindre 59,4 gr. par minute. Par 166 révolutions à la minute, le moteur développait 60,5 chevaux effectifs : on consumma 408 litres de gaz par cheval-heure effectif, le gaz étant pris à la température de l'ambient. Le rendement thermique effectif ressortait par conséquent à 30,8 %.



M. Burstall déclara, à la suite de ces expériences, n'avoir jamais observé de rendement supérieur. Bien que le gaz renfermât 42,9 d'hydrogène %, il ne se produisit pas de coups durs, ni aucun allumage prématuré. L'injection d'eau constitue donc un procédé extrêmement recommandable : on le savait déjà, mais MM. Crossley en ont donné une preuve nouvelle, et ils ont réalisé la chose d'une façon remarquable.

Bien qu'ils ne se soient pas engagés à fond dans cette branche de la construction des moteurs, leur application à l'utilisation directe des gaz de hauts fourneaux a exigé un nouvel effort de la part des constructeurs; ils ont créé d'emblée un moteur qui présente un caractère incontestable d'originalité. Je suis heureux de pouvoir en donner la description complète, basée sur les spécifications mêmes des brevets anglais; il s'agit de soufflantes à gaz.

L'idée mise en œuvre est hardie; elle est due à MM. William John Crossley et James Atkinson.

Le moteur à gaz forme un tout compact et indivisible avec la machine soufflante, dont le piston est solidaire de celui du moteur et d'une pièce avec lui; leur masse est attachée au vilebrequin par une bielle unique.

Le dispositif est double, et tout est symétrique par rapport à l'arbre de couche.

Les cylindres moteurs ont 788 millimètres de diamètre; les cylindres soufflants mesurent 1 m. 60 de diamètre. La course commune est de 0 m. 914 et le nombre de révolutions est réglé à 135 par minute. Le débit d'air garanti atteint 13.600 mètres cubes sous la pression de 0 kg. 49 par centimètre carré.

Une de ces machines a été installée au pied des hauts fourneaux Hickmann, près Wolverhampton, en Angleterre.

Mais la maison Crossley ne semble pas fort désireuse de conquérir la clientèle des puissants moteurs de la sidérurgie; il est vrai qu'elle n'en a pas eu besoin pour vendre près de 100.000 moteurs, dont la puissance dépasse 1 million de chevaux.

Elle est représentée en France par les Établissements Diény et Lucas (1).

### 3. Moteur Koerting.

La maison Koerting est une des premières qui se soit adonnée à la construction des moteurs à gaz : dès l'année 1879, elle exploitait les brevets Koerting-Lieckfeld, qu'elle transformait rapidement. Ces machines étaient caractérisées

(1) MM. Diény et Lucas sont aussi concessionnaires du moteur Premier, que la maison Crossley construit depuis 1919; cette machine, généralement horizontale, polycylindrique à partir de 50 chevaux, est caractérisée par un parfait équilibrage, une marche silencieuse et un bon rendement. Elle est à admission variable. Les leviers de commande des soupapes portent leurs axes, qui oscillent dans des paliers; les soupapes sont ramenées par deux ressorts. Les moteurs de 1.000 chevaux sont à 8 cylindres : on revendique pour eux un remarquable degré d'irrégularité cyclique, assuré par un régulateur puissant et extrêmement sensible.



par le réglage de la vitesse au moyen de l'échappement. L'allumage était effectué par l'ingénieuse fusée Kœrting, par aspiration de flamme.

Dès 1896, les ateliers de Kœrtingsdorf avaient sorti 3.500 moteurs d'une puissance totale de 1.500 chevaux, d'où ressortait une puissance moyenne de moins de 5 chevaux, ce qui montre qu'on avait surtout développé la construction des petites machines. Mais on aborda alors résolument les types de puissance supérieure, à deux temps et à quatre temps.

Nous ne nous occuperons ici que de ces derniers.

A l'exemple d'Otto, on établit d'abord des machines à quatre cylindres : une disposition spéciale permettait de découpler aisément un des cylindres, et de procéder à son nettoyage, sans arrêter les autres, ce qui était avantageux quand on employait des gaz chargés de poussières et de goudrons.

Bientôt, la maison Kœrting prit rang parmi les constructeurs des grands moteurs : son concessionnaire américain, la Vergne Refrigerating Machine Co, introduisit dans le nouveau monde les moteurs à gaz de hauts fourneaux.

On doit à la firme Kœrting un certain nombre d'innovations, qu'il est juste de relever à son actif, bien qu'elles n'aient pas toutes été sanctionnées par une longue pratique. Pour les grands cylindres, les chambres d'explosion étaient rapportées latéralement, pour en faciliter l'accès et le nettoyage; une soupape de vidange, logée à la partie inférieure, évacuait les huiles en excès : ce dispositif est souvent désigné sous le nom de culasses latérales. Le réglage pratique était à volume variable sous teneur constante, avec interposition d'un papillon, placé à la suite de la soupape d'admission du mélange au cylindre; ce papillon était, du reste, adjoint à une soupape automatique d'arrêt, qui avait pour but d'éviter le refoulement du gaz sous pression dans la conduite d'air. Pour relier l'un à l'autre les bâtis de deux cylindres en tandem, la pièce de liaison portait un évidement permettant l'accès des boîtes à bourrage et des crosses; un tirant d'acier était disposé au milieu de cet évidement. Le piston Kœrting des machines à double effet est coulé d'une pièce, et il porte sur la tige de toute sa longueur.

Dans ses plus récentes machines, la maison Kœrting a reproduit le dispositif de régulation qu'elle avait adopté d'abord pour ses moteurs à simple effet : un doseur spécial fabrique le mélange, qui est admis en quantité variable par la soupape d'admission; le réglage est donc rigoureusement quantitatif et il est effectué par les moyens les plus simples. Voici comment est constitué le doseur : le gaz et l'air sont amenés par deux tuyaux verticaux concentriques sur lesquels repose un disque, à axe vertical, formant une espèce de clapet de retenue. Les sections des passages ouverts à l'air et au gaz sont proportionnelles à la levée de ce disque; il en résulte que le dosage du mélange reste toujours le même. A la suite de ce clapet, se trouve le papillon, commandé par le régulateur : il obture plus ou moins la section du canal, suivant le besoin. Or, un étranglement a pour effet de produire un certain vide durant la période d'aspi-



ration, lequel influence la levée du clapet, dont le mouvement automatique se trouve ainsi placé sous la dépendance du régulateur. Le papillon est obligatoirement placé le plus près possible de la soupape d'admission et du doseur, sinon il existerait là une chambre formant espace nuisible, qui présenterait divers inconvénients et donnerait lieu à des détonations, lorsque la soupape d'admission manquerait d'étanchéité. Tout cet ensemble est caractérisé par une remarquable simplicité des moyens mis en œuvre : le prospectus de la

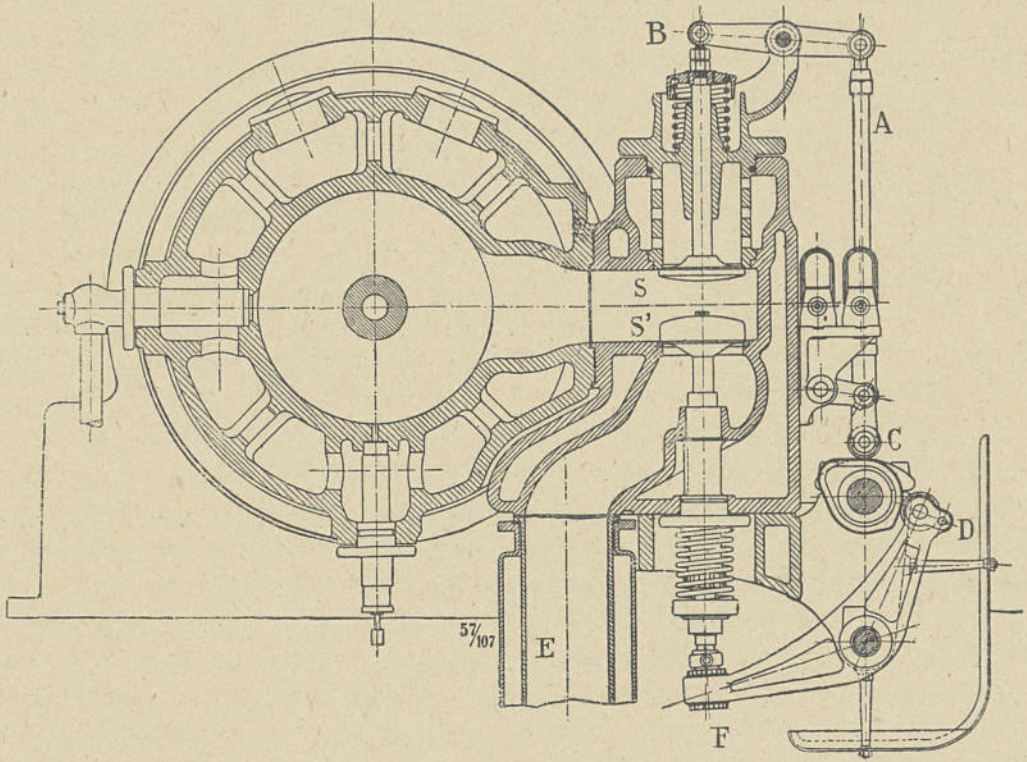


Fig. 173. — Distribution Kœrting.

maison Kœrting qualifie cette distribution de *Præzisionsteuerung* et il revendique pour elle une consommation réduite et une régularité parfaite.

La boîte à soupapes est latérale au cylindre : ce dispositif, que nous avons déjà signalé ci-dessus, et dont on peut étudier les détails sur la figure 173, présente certainement de grandes facilités pour la visite des soupapes d'admission et d'échappement : ainsi, une machine étant arrêtée et prise toute chaude, on a pu en sept minutes enlever et remettre une soupape de décharge. C'est un tour de force : mais il faut bien se dire qu'il a été accompli par des ouvriers habiles et admirablement dressés ; d'ailleurs, une manœuvre de ce genre constitue ce que les Allemands appellent malicieusement *ein Parade-Versuch*. Les soupapes sur le côté du cylindre prêtent, par contre, le flanc à certaines critiques :



relativement à la grandeur de l'espace mort, à sa forme complexe et aux réduits qu'il présente, lesquels peuvent nuire à l'homogénéité du mélange et à sa bonne combustion. Toute médaille a son revers : les avantages que procure un dispositif sont d'ordinaire compensés par certains inconvénients, plus ou moins sérieux et plus ou moins contestables. Il est quelquefois difficile de se prononcer sur leur importance relative. On reproche encore à cette forme de cylindre de ne pas se prêter à l'écoulement des huiles ; MM. Kœrting revendiquent par contre pour elle l'avantage de ne pas encrasser les soupapes d'échappement : les deux arguments ont de la valeur.

Jusqu'à 200 chevaux, la maison Kœrting fait le simple effet ; le cylindre donnant cette puissance mesure 630 millimètres d'alésage et 0 m. 900 de course, et la vitesse est de 150 tours par minute. Au delà de 200 chevaux, on multiplie les cylindres ; le double effet est appliqué à partir de 400 chevaux, et les cylindres sont alors jumelés ou placés en tandem.

Ces moteurs sont vendus concurremment par M. Kœrting avec les moteurs à deux temps.

Cette maison s'est du reste fait aussi une spécialité de la construction de petits moteurs à essence et à alcool, du type horizontal et vertical. Nous devons faire une mention particulière d'un modèle à quatre cylindres verticaux, destiné à la propulsion des bateaux : le canot *Sleipner*, qui a remporté cinq prix aux régates du Rhin, en 1907, portait un de ces moteurs.

#### 4. Moteur Cockerill.

La Société John Cockerill de Seraing (Belgique), travaillant en collaboration avec Delamare-Deboutteville, le créateur du Simplex, a établi, en 1897, un moteur à gaz de haut fourneau de grande puissance, monocylindrique, de 800 millimètres de diamètre et 1 mètre de course, qui développait aisément 200 chevaux effectifs par 105 tours à la minute (1). C'était une copie perfectionnée du moteur de Pantin ; il avait fallu changer les dimensions relatives des soupapes d'air et de gaz, pour s'adapter à la pauvreté extrême des gaz fournis par les hauts fourneaux, et prendre des précautions spéciales pour évacuer les poussières amenées par ces gaz dans le cylindre.

A ce dernier point de vue, le résultat ne répondit pas tout d'abord aux

1. J'ai mentionné longuement ci-dessus, dans l'histoire des moteurs, la part considérable prise par Delamare-Deboutteville et Malandin à la création et au développement des machines de grande puissance : leur *Simplex* y a été décrit dans ses grandes lignes. Nous jugeons inutile d'en dire davantage, parce que sa construction a été arrêtée depuis bon nombre d'années. Avec une grande clairvoyance, ils avaient pratiqué les hautes compressions dès l'année 1884, et les résultats obtenus avaient fait sensation, ainsi qu'en ont témoigné mes essais de Rouen de 1885. Ils ont été des premiers à faire usage d'un *Self Starting*. Déjà en 1890, la consommation du *Simplex* avait été abaissée à 612 grammes d'anthracite et de coke par cheval-heure effectif.



espérances des constructeurs, mais il suffit de quelques modifications de détail pour surmonter cette difficulté : les tâtonnements furent abrégés, grâce à la propreté relative des gaz des fourneaux de Seraing. Les essais de juillet 1898, auxquels j'eus l'honneur de présider, nous firent constater une consommation de 3.159 litres de gaz au pouvoir de 1.000 calories et de 3.440 litres de gaz à 937 calories : une expérience continue de vingt-quatre heures, durant laquelle on procéda à de nombreuses mesures, démontra officiellement, pour ainsi dire, les qualités de ce moteur, qui marcha durant des années, presque sans discontinuité, actionnant une dynamo appliquée à l'éclairage et à un transport d'énergie. Cette épreuve fut indiscutable ; mieux encore qu'un essai de vingt-quatre heures, elle a été décisive pour les personnes les plus prudentes et elle a démontré la viabilité industrielle de ces installations aux gaz de hauts fourneaux.

Encouragé par ce succès, la Société Cockerill établit, en 1899, un moteur de 600 chevaux par un seul cylindre, commandant directement une soufflante horizontale par le prolongement en arrière de la tige de son piston : cette belle machine fut exposée à Paris, en 1900, dans la galerie du Champ-de-Mars (1) : tous les visiteurs ont vu le colosse, tous l'ont admiré, les ingénieurs seuls ont apprécié la difficulté vaincue.

Pour en juger en connaissance de cause, il faut savoir quelles étaient les données de ce groupe imposant.

|  |                           |
|--|---------------------------|
| Diamètre du cylindre moteur.....               | 1 m. 300                  |
| Course du piston.....                          | 1 m. 400                  |
| Diamètre de la tige du piston.....             | 244 mm.                   |
| Longueur de la bielle.....                     | 4 m. 60                   |
| Diamètre du tourillon de l'arbre.....          | 460 mm.                   |
| — cylindre de la machine soufflante..          | 1 m. 700                  |
| Course du piston de la machine soufflante..... | 1 m. 400                  |
| Diamètre de la tige du piston.....             | 244 mm.                   |
| Dimensions du groupe.....                      | { hauteur..... 4 mètres.  |
|  | { longueur..... 16 m. 500 |
|  | { largeur..... 6 mètres.  |
| Diamètre du volant.....                        | 5 mètres.                 |
| Poids du volant.....                           | 33 tonnes.                |
| — du moteur (sans volant).                     | 94 —                      |
| — de la machine soufflante.                    | 31 —                      |
| Poids total.....                               | 158 tonnes.               |

Cette machine, qui faisait environ 94 tours par minute, pouvait débiter au moins 500 mètres cubes d'air par minute, sous une pression de 40 centimètres de mercure ou 310 mètres cubes sous la pression de 76 centimètres. Les essais faits à Seraing, en mars 1900, ont démontré qu'elle était capable de produire une puissance utile du vent soufflé de 743 chevaux, la pression moyenne du vent étant de 451 millimètres de mercure ; dans ces conditions, elle a consommé

1. Le moteur fonctionnait une heure par jour ; on l'alimentait de gaz de ville ce qui présentait une difficulté d'un ordre tout particulier.



par cheval-heure effectif 2.725 litres de gaz de hauts fourneaux, ayant un pouvoir d'au plus 1.000 calories, à volume constant, vapeur d'eau condensée (1); cette consommation s'est élevée à 2.917 litres au maximum. La consommation d'eau par cheval-heure utile n'a pas dépassé 50,20 litres pour le refroidissement du moteur. J'emprunte ces chiffres à un rapport de M. Hubert, dressé à la suite de ces essais et publié dans la *Revue universelle des mines*, 3<sup>e</sup> série, tome L.

Ce moteur présentait des particularités extrêmement intéressantes.

Delamare-Deboutteville et MM. Bailly et Kraft de la Saulx, ont cherché par-dessus tout à assurer sa parfaite stabilité : à cet effet, ils ont donné aux pièces du moteur une large assiette. Mais on pouvait craindre que, par suite de la grande longueur du massif de fondation, il ne se produisit des déplacements relatifs du palier, du cylindre et de la soufflante : on a donc relié le palier au cylindre par quatre fortes entretoises cylindriques en acier; les deux cylindres sont, d'autre part, rendus solidaires par deux traverses massives en fonte, formant entretoises et coulisse, et soulageant les bourrages de l'énorme pression produite par la masse des pistons.

Le piston du moteur et celui de la machine soufflante sont montés sur une même tige, qui traverse un stuffing-box de la culasse du cylindre moteur et deux autres du cylindre à vent.

La distribution est effectuée à la façon habituelle par un arbre longitudinal portant les cames qui actionnent les diverses soupapes. Une fosse creusée entre les cylindres permet un accès facile de tous les organes de distribution.

Il était nécessaire d'assurer un mélange parfait du combustible et de l'air, pour obtenir une bonne combustion. Delamare-Deboutteville a réalisé cet objet par l'emploi d'une triple soupape, qui n'a pas été conservée.

Ces premiers moteurs étaient réglés par admission de tout ou rien : la régularité, parfaitement suffisante pour la commande de machines soufflantes, laissait à désirer, quand on actionnait des dynamos et surtout des alternateurs accouplés, qui ne tolèrent pas de variations notables de la vitesse de régime et de la vitesse cyclique. Delamare-Deboutteville obvia à ce défaut en donnant à ses machines une admission variable : dans ce nouveau dispositif, la phase d'appel et d'admission du mélange est plus ou moins abrégée par le régulateur, à l'instar de ce qui se faisait autrefois dans le moteur Niel. Le mécanisme qui fournit ce résultat, et le met sous la dépendance du régulateur, mérite d'être signalé parce qu'il était ingénieux.

Le rendement thermique n'a pas été inférieur à ce qu'il était, quand on procédait par admission de tout ou rien; on pouvait craindre qu'il n'en fût pas ainsi. Pour ce qui est de la vitesse moyenne, on a observé des abaissements de 7 % sur douze cycles, quand on opérait rapidement une mise en charge,

1. Ce chiffre a été déterminé à l'aide de ma bombe eudiométrique, dans les conditions dites ci-dessus, et confirmé par les résultats de nombreuses analyses.



l'écart total étant de 10 % entre le maximum et le minimum absolu. Les variations de la vitesse cyclique étaient généralement de 3 à 4 %, mais elles atteignaient par moment 5 à 7 %. Il se produisait des ratés d'allumage aux faibles charges; il en résultait des écarts de vitesse de 12 %. A pleine charge, la compression était de 10 kg. 7 et la pression explosive de 16 kg. 75; à trois quarts de charge, on trouvait 8 kg. 4 et 13 kg. 4; à demi-charge, 4 kg. 30 et 11 kilogrammes, et à quart de charge, 3 kg. 9 et 7 kg. 9.

Après avoir fait le moteur monocylindrique de 600 chevaux, les ingénieurs de Seraing ont été amenés à doubler le nombre des cylindres pour réaliser des puissances supérieures. Fallait-il les jumeler en plaçant les cylindres l'un à côté de l'autre ou en les opposant, ou bien encore en les disposant en tandem l'un derrière l'autre? Nous avons déjà discuté la question. La Société Cockerill a adopté la disposition en tandem et elle réalisa une puissance de 1.200 chevaux par 80 révolutions à la minute. La régularité obtenue était encore remarquable, et on l'augmenta en accélérant la vitesse angulaire, par l'emploi de volants en acier coulé, qui développaient 42 mètres par seconde à la circonférence.

L'exploitation des brevets et modèles Cockerill fut concédée à plusieurs concessionnaires, parmi lesquels nous citerons :

Pour la France : MM. Schneider et C<sup>ie</sup>, au Creusot;

La Société française de constructions mécaniques (anciens établissements Cail), à Denain;

La Société Alsacienne de constructions mécaniques, à Mulhouse et à Belfort.

Pour l'Angleterre : MM. Richardson-Westgarth et C<sup>o</sup>, à Middlesborough.

Pour l'Allemagne : Die Mærkische Maschinenfabrik, à Wetter sur la Ruhr.

Dès l'année 1903, les moteurs construits par ces diverses maisons étaient au nombre de 73, développant ensemble 41.800 chevaux; la puissance moyenne d'un moteur ressortait à 571 chevaux, mais il en était dans le nombre plusieurs de 1.200 chevaux; le type de 600 chevaux dominait.

Signalons en particulier une imposante batterie de moteurs installée à Differdange; la halle qui les renfermait mesure 110 mètres de longueur sur 21 de largeur. La station comprenait trois moteurs de 600 chevaux accouplés directement à des dynamos Schuckert, pour transport d'énergie, six autres de même puissance, actionnant des soufflantes et deux petits moteurs de 60 chevaux pour éclairage. Le gaz était amené aux chaudières de l'aciérie par une conduite de 0 m. 50 de diamètre, sur laquelle était branchée la prise de gaz des moteurs. Le gaz traversait un jeu d'orgue, destiné à abaisser sa température à 20°, et deux ventilateurs à injection d'eau montés en série.

Mais les constructeurs abandonnaient à cette époque le simple effet pour leurs puissants moteurs, et les ateliers de Seraing, toujours désireux de garder la tête du mouvement, s'engagèrent résolument dans la voie nouvelle. MM. Bailly et Kraft de la Saulx avaient mis à l'étude, en 1902, un moteur à double effet



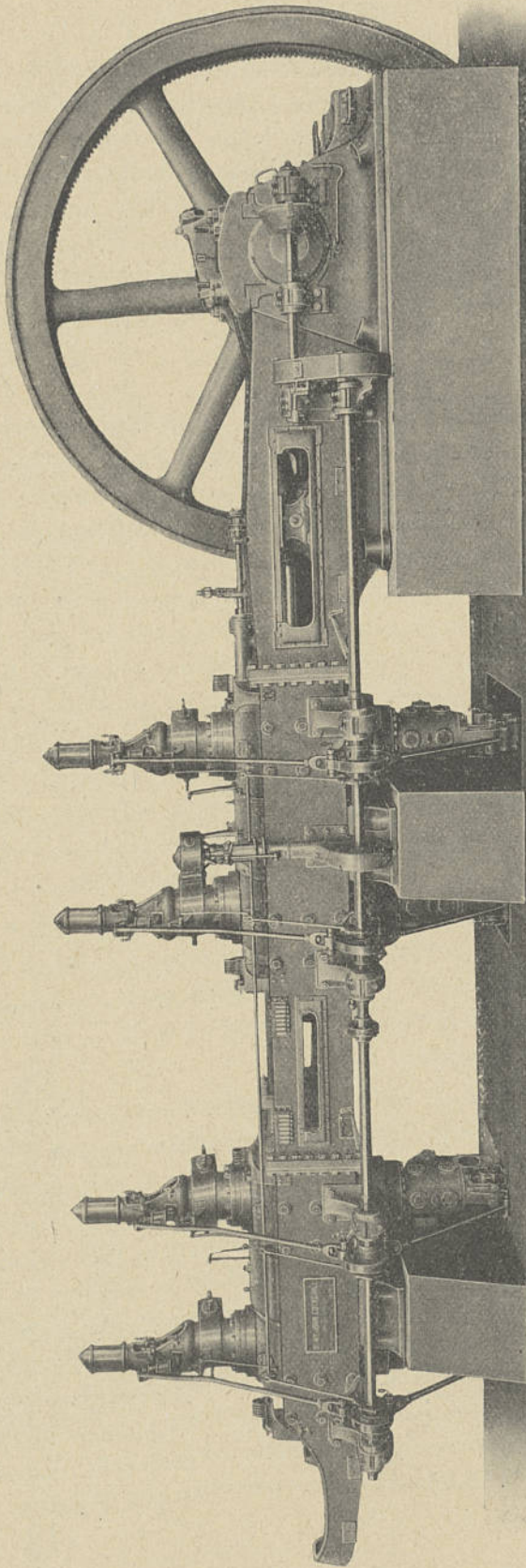


Fig. 174. — Moteur Cockerill.



monocylindrique, de 1.300 millimètres de diamètre et 1 m. 400 de course, qui devait actionner une soufflante et développer 1.200 chevaux par 80 révolutions à la minute; puis ils établirent un modèle de même puissance, destiné à constituer des groupes électrogènes par deux cylindres à double effet disposés en tandem. Une machine de ce type, d'une puissance de 1.350 chevaux, composée de deux cylindres en tandem à double effet, fut exposée à Liège et y fut très remarquée : on annonçait une consommation de 2.400 litres de gaz de haut fourneau, un rendement thermique voisin de 30 % et un coefficient d'irrégularité de  $\frac{1}{200}$ .

Cette belle machine présentait quelques dispositions très ingénieuses, mais assez compliquées. La chambre de combustion recevait l'air et le gaz par deux orifices circulaires concentriques fermés par une soupape double : le réglage était effectué par admission variable. Le mécanisme de distribution ouvrait la soupape au début de la course d'aspiration et la ramenait sur son siège, après que le piston avait parcouru une partie plus ou moins grande de cette course, suivant la puissance à développer; le régulateur agissait sur une came de dé clic, qui diminuait l'admission lorsque la vitesse de rotation tendait à s'accélérer. La fermeture de l'admission en course d'aspiration avait pour effet de produire dans le cylindre une dépression sensible, qui tendait à faire lever la soupape d'admission : plutôt que de la maintenir par un ressort énergique, on faisait intervenir un levier, qui appuyait sur elle vers la fin de la course d'aspiration. La soupape d'échappement était aussi assujettie par une came de serrage, afin d'éviter que les gaz brûlés ne fussent rappelés dans le cylindre.

Ce modèle ne tarda pas à être perfectionné.

Le type auquel la Société Cockerill s'est arrêtée ensuite était encore à admission variable, mais sous compression constante : les figures d'ensemble 174 et 175, et la coupe transversale de la figure 176 permettent de se rendre compte de la construction de cette machine.

Trois soupapes d'admission sont placées au-dessus du cylindre : la première admet l'air, la deuxième le gaz et la troisième livre passage au mélange. Celle-ci est montée sur la même tige que la soupape d'air et elle en est solidaire; c'est un simple disque, tandis que la deuxième a la forme d'un tiroir cylindrique ou d'une lanterne. Ce tiroir obstrue les lumières circulaires par lesquelles l'air est admis, et ils les démasque, lorsque l'abaissement de la soupape de mélange commence. Le mouvement de descente de la tige commune de ces deux soupapes comprime un ressort, qui tend à les relever; cette tige, concentrique à celle de la soupape à gaz, la traverse à frottement doux. La soupape à gaz est à double siège; elle ne s'abaisse et ne laisse passer le gaz qu'à un moment donné de la course du piston, sous la dépendance du régulateur. Avant cela, le cylindre ne recevait que de l'air, lequel envahit seul l'espace parcouru par le piston; ensuite,



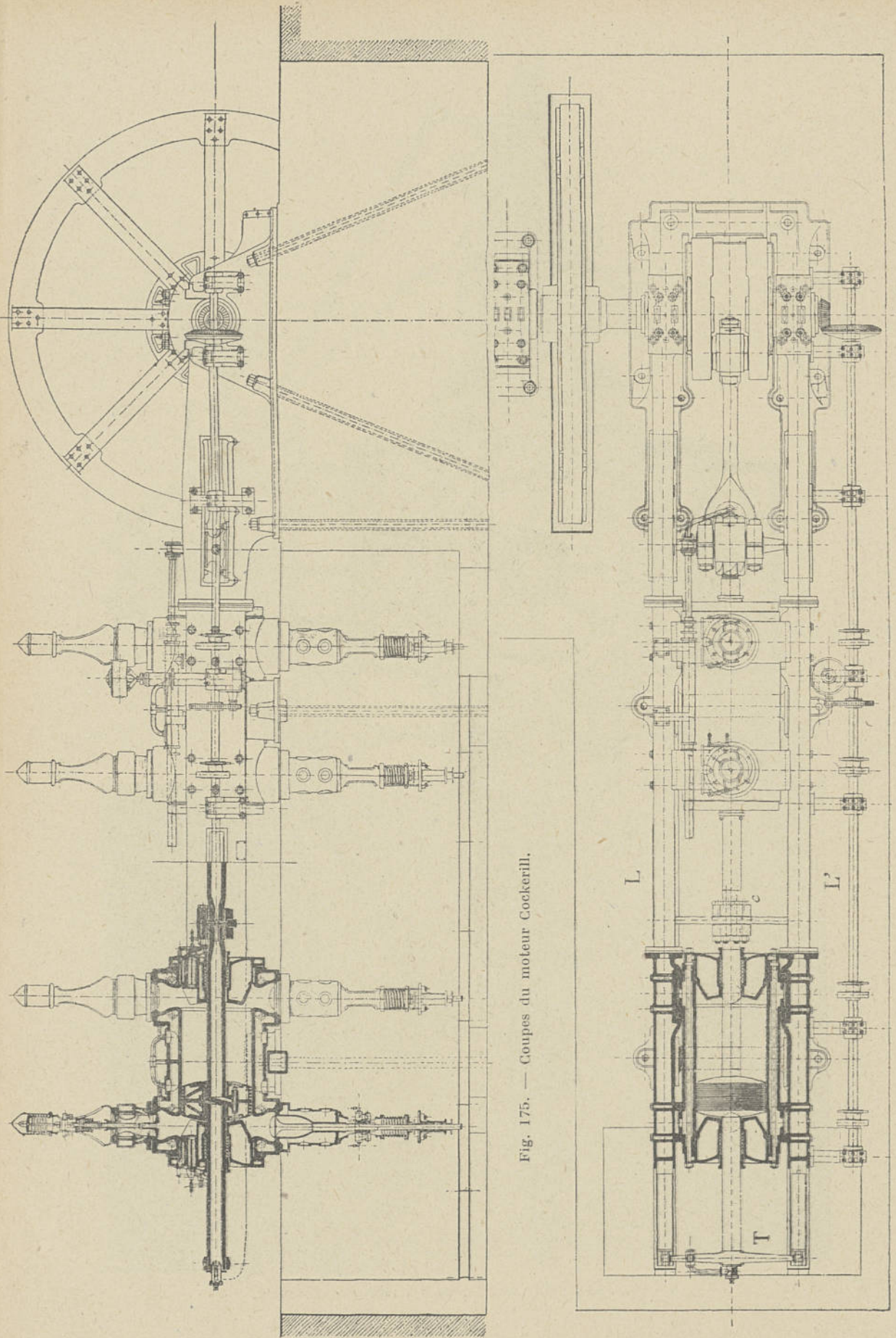


Fig. 175. — Coupes du moteur Cockerill.



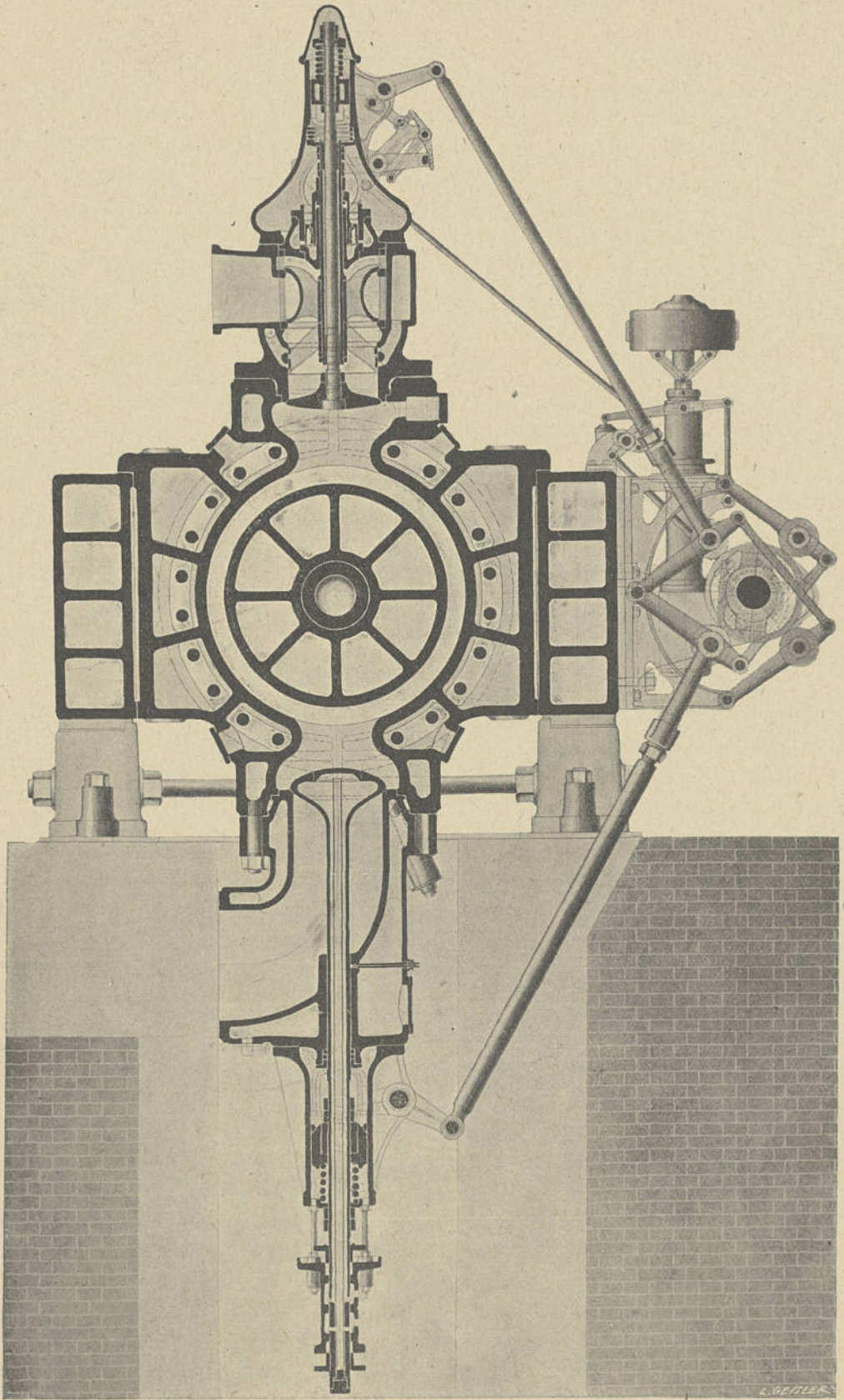


Fig. 176. — Distribution Cockerill à réglage quantitatif.



il y a admission simultanée d'air et de gaz. La compression est maintenue constante, puisque à chaque coup la cylindrée est remplie dans les mêmes conditions.

La soupape de décharge, placée en dessous du cylindre, sur la verticale de celle d'admission, est à simple siège; comme d'habitude, l'arbre de distribution porte une came, qui agit sur le galet dont est garnie l'extrémité de la tige de commande. Elle se lève avec une avance de 15 %; or, la soupape de mélange est soulevée en même temps qu'elle, d'où résulte un balayage énergique de la chambre de combustion et une expulsion des gaz brûlés par l'afflux de l'air frais.

Voyons comment est effectué le réglage.

Le régulateur agit sur la soupape d'admission des gaz d'autant plus tard que la puissance à développer est moindre. Le levier, qui actionne la soupape de mélange, est relié au levier qui fait lever la soupape à gaz, par l'intermédiaire d'une bielle extensible, composée de deux parties, dont l'une est reliée au cylindre d'un dashpot, tandis que l'autre est connectée avec son piston. Le levier du gaz peut être immobilisé par un doigt, qui enclanche son extrémité; tant que cet enclanchement se maintient, le levier de mélange s'éloigne de l'autre et soulève le piston du dashpot. Le mouvement de la soupape de mélange comprime un ressort R fixé sur la tige de la soupape à gaz; lorsque le doigt dégage le levier, celui-ci obéit à l'action de ce ressort et ouvre la soupape à gaz. Enfin, sur la fin de la course d'admission, les deux soupapes sont ramenées sur leurs sièges, par l'action d'un second ressort R' supérieur, plus énergique que R. L'emploi de ces deux ressorts assure toujours une parfaite étanchéité à la soupape de mélange (1).

Le mode de réglage quantitatif n'a pas les préférences de tous : en conséquence, la Société Cockerill s'est mise en mesure de servir ses clients suivant leurs goûts. A cet effet, elle a établi un type de réglage qualitatif, qui n'impose que de faibles modifications à la boîte à soupapes et aux principaux organes de distribution et qui permettrait au besoin de faire des essais comparatifs sur une même machine avec les deux réglages : il serait extrêmement désirable que de semblables expériences soient entreprises.

La figure 177 fait voir le dispositif de réglage qualitatif. On y retrouve les éléments essentiels du premier; le tiroir cylindrique fournit de l'air durant toute la course d'aspiration.

La soupape à gaz, équilibrée et à double siège, se trouve au-dessus du tiroir :

1. Les revendications du brevet Cockerill du 24 mars 1904 sont les suivantes : 1° l'application d'une soupape à gaz, distincte, concentrique à la soupape d'admission au cylindre, dont l'ouverture est commandée par un déclanchement dépendant du régulateur, et limitée par le degré d'ouverture de la soupape à mélange actionnant la lanterne d'admission d'air, de sorte que, à quelque moment qu'ait lieu le déclanchement, la proportion du mélange tonnant reste constante; 2° l'application d'une liaison par bielle de longueur variable pour actionner l'un par l'autre les balanciers de commande des soupapes à mélange et à gaz, de façon à rendre ces soupapes solidaires pour la fermeture et indépendantes pour l'ouverture.



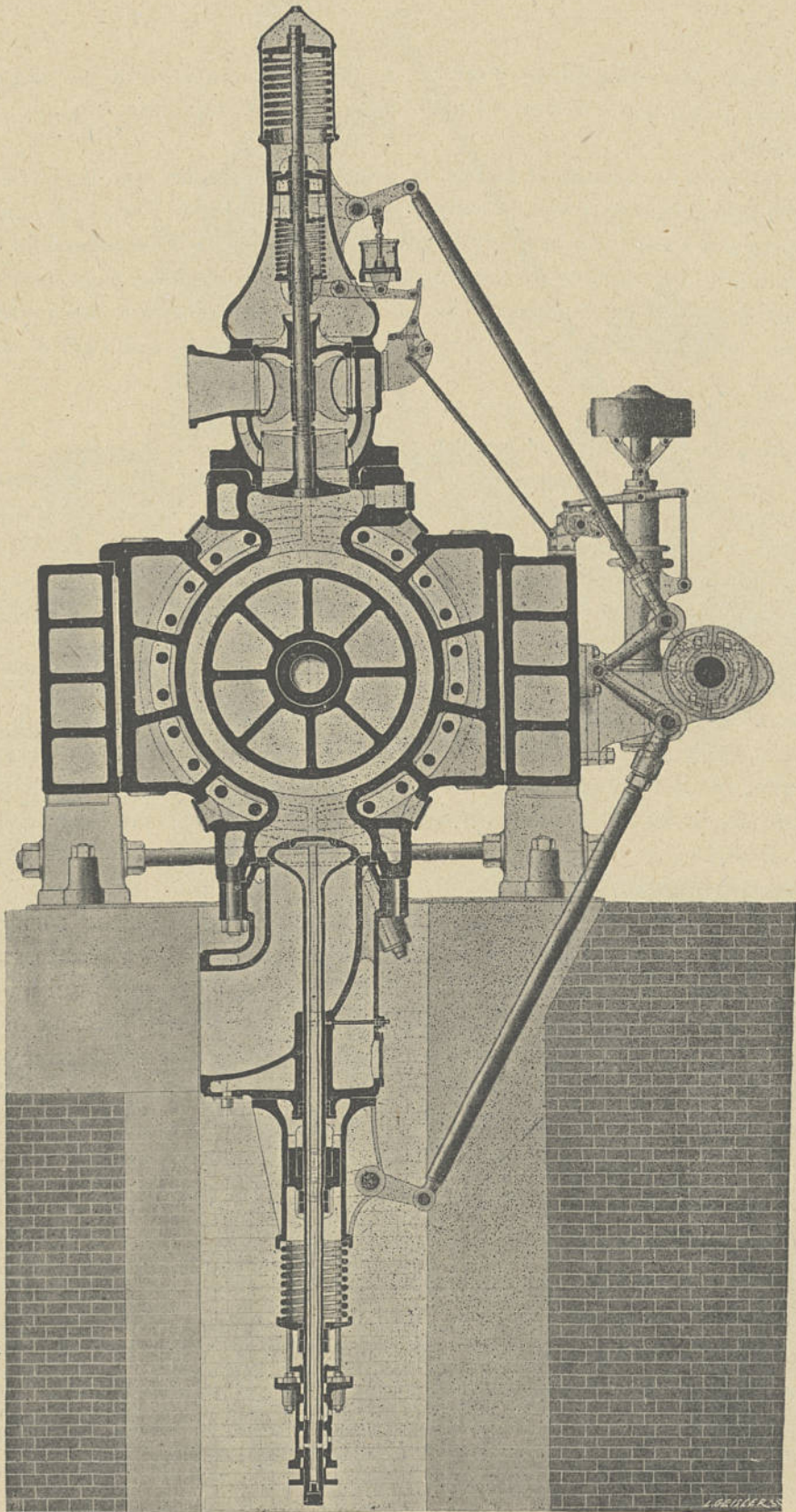


Fig. 177. — Distribution Cockerill à réglage qualitatif.



elle est mise sous l'action du régulateur de la manière suivante. Un ressort la relie à la tige de la soupape de mélange. Au début de la phase d'admission, le tiroir donne de l'air, mais la tige de la soupape de mélange comprime le ressort de la valve à gaz. Au moment voulu, le régulateur fait agir un déclic, qui libère la valve et lui permet d'obéir à son ressort; elle s'ouvre brusquement et le gaz arrive au cylindre jusqu'à la fin de la course. Le gaz se mêle donc à l'air sur la fin de la course et il constitue un mélange plus riche près des tampons d'allumage, ce qui assure une meilleure mise de feu.

Le bâti des puissants moteurs Cockerill à deux cylindres à double effet en tandem se compose de trois parties; celle d'avant, qui comprend les paliers et les guides de la crosse; les deux autres sont constituées par des longerons creux, cloisonnés et assemblés par des brides boulonnées; ces longerons servent aussi de guides à la traverse intermédiaire, jonctionnant les deux tiges et à la traverse terminale arrière. La partie antérieure du bâti est seule fixée sur le massif de fondation; les deux autres reposent sur des pieds placés au milieu de la longueur de chaque cylindre; leur dilatation n'est nullement entravée, attendu qu'elles peuvent glisser sur leurs bases.

Les cylindres portent des saillies cloisonnées par l'intermédiaire desquelles elles s'appuient sur les longerons. Leur fixation s'opère dans le sens longitudinal par des clavettes, et latéralement par des boulons : leur démontage est rapide. Les enveloppes sont coulées d'une pièce avec les cylindres intérieurs; l'implantation des orifices d'admission et de décharge sur une même verticale affaiblit la section normale à l'axe, mais on l'a consolidée par des tirants traversaux. Les fonds sont aussi reliés entre eux par des tirants longitudinaux, traversant la chambre d'eau des enveloppes.

Les pistons sont en acier coulé; ils sont formés de deux parties, boulonnées ensemble et appuyées sur une embase de la tige.

La figure 178 montre une disposition d'ensemble un peu différente, mais non moins bien étudiée.

La mise en route se fait à l'air comprimé; il est admis par une soupape, placée dans le fond des cylindres, ouverte par une came spéciale; celle-ci cesse d'agir aussitôt que les premières bonnes explosions se sont produites.

Le catalogue de la Société Cockerill, publié en 1907, mentionne des moteurs tandem de 2.180 chevaux, faisant 82 tours, pesant 251 tonnes; et des moteurs double tandem de 5.180 chevaux, pesant 465 tonnes.

On y trouve aussi la description d'un type vertical, à double effet, à deux cylindres jumelés, coulés en une pièce. L'arbre coudé est à deux manivelles calées à 180°. Les cylindres portent à chaque bout, sur le devant, des boîtes à soupapes munies en bas d'une soupape d'échappement, en haut, d'une soupape d'admission, recevant toutes deux leur mouvement par des cames calées sur l'arbre de distribution, placé à mi-hauteur des cylindres. Le réglage se fait à mélange de teneur constante, avec admission variable par le régulateur. Le type



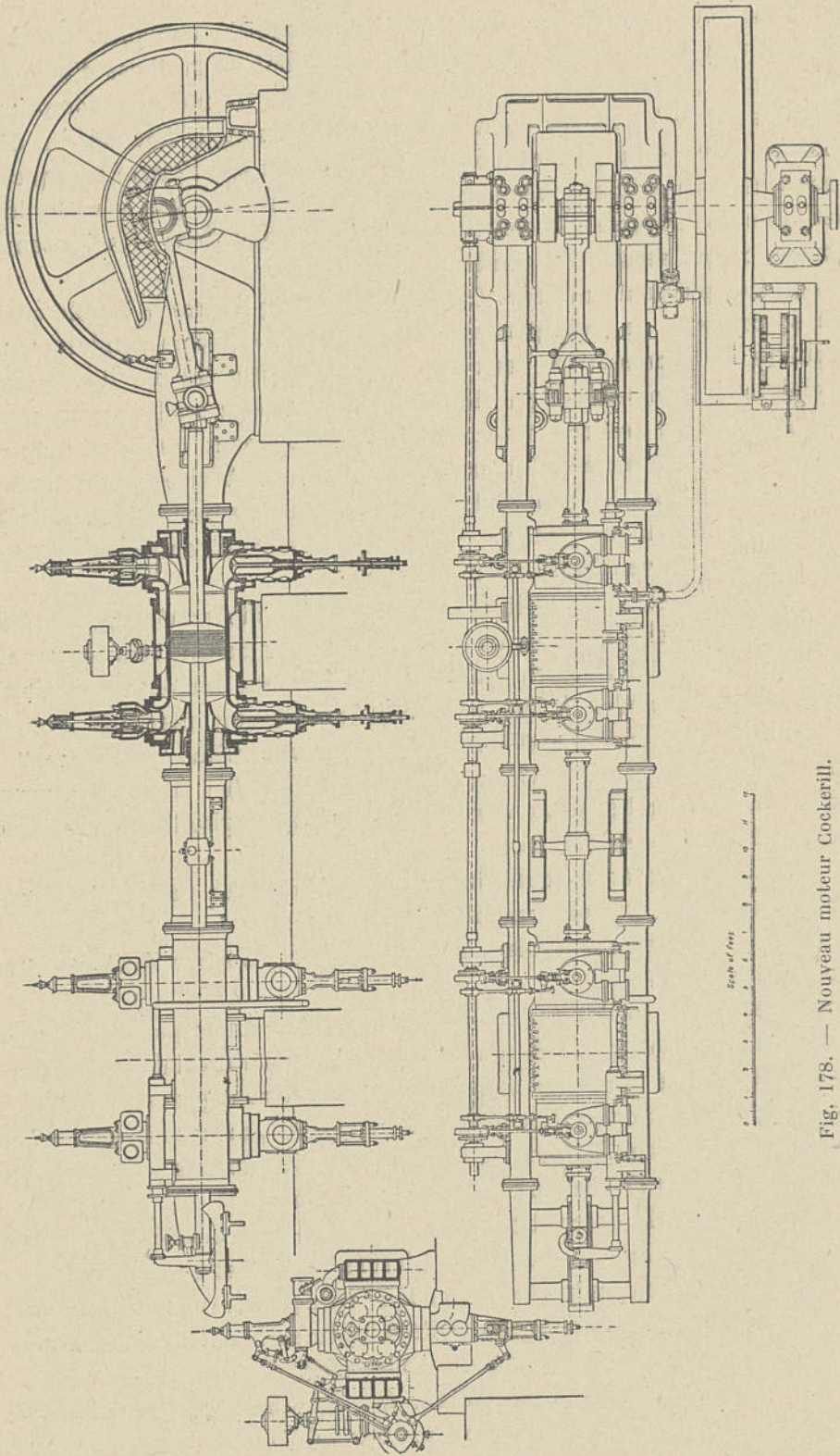


Fig. 178. — Nouveau mouleur Cockerill.



le plus puissant développe 300 chevaux par 200 tours à la minute : il pèse 21 tonnes, dont 4 pour le volant ; la régularité garantie est de 200. En accou-

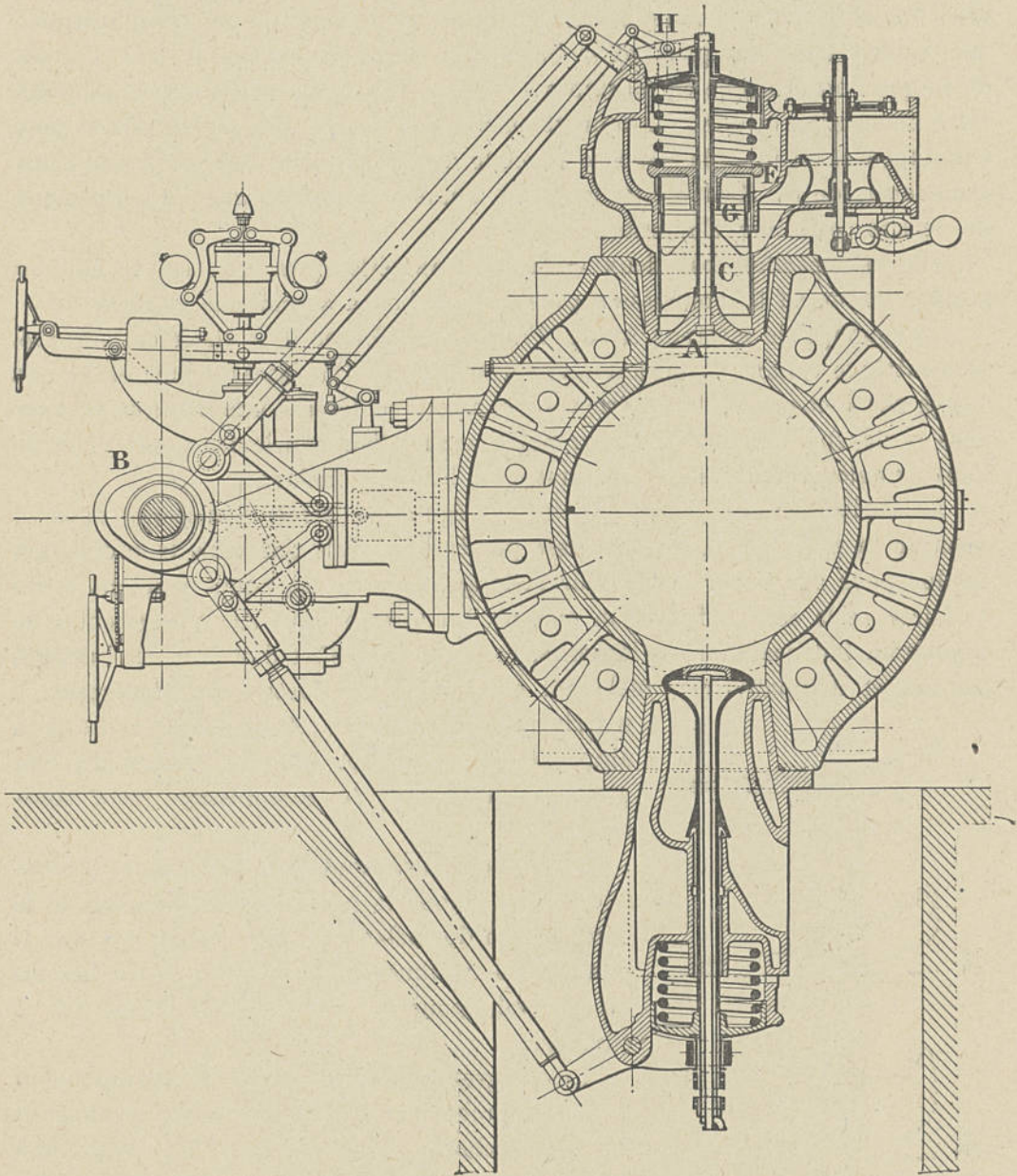


Fig. 179. — Nouvelle distribution Cockerill.

plant deux de ces machines, on doublerait la puissance et la régularité.

Mais c'était dans l'établissement des puissantes unités, réclamées par l'industrie sidérurgique, que les ateliers de Seraing entendaient conserver la maîtrise ; il ne fallait cesser de tendre vers la perfection. En 1912, on réalisait



un dessein, longuement mûri par Delamare-Deboutteville; l'arbre coudé présente l'avantage de porter sur son prolongement le volant du moteur et le rotor d'une génératrice, mais il exige trois paliers, qui s'usent inégalement, parce qu'ils ne subissent pas les mêmes efforts, et il constitue une complication : mieux vaut faire attaquer par la bielle une manivelle extérieure, à l'exemple de ce que l'on pratique en machines à vapeur. En même temps qu'on adoptait cette disposition et que l'on donnait au bâti une forme plus rationnelle et plus avantageuse, on modifiait encore le mode de distribution. Je dois à une communication de M. Kraft de la Saulx les données ci-dessous qui me permettent de décrire cette nouvelle création (1).

Elle est spécifiée par deux éléments caractéristiques : on est revenu au réglage qualitatif à compression constante et l'on a abandonné le déclic.

La soupape de mélange A (fig. 179) est surmontée d'un tiroir cylindrique, concentrique à l'axe C, faisant corps avec A, qui livre accès à l'air et au gaz venus par E et par D. A l'intérieur de ce tiroir, se déplace une lanterne G, mise sous la dépendance du régulateur par l'intermédiaire du levier coudé H et de deux tringles verticales qui traversent la boîte de mélange.

A la vitesse normale du moteur, le régulateur place la lanterne dans sa position la plus élevée, et elle laisse passer l'air et le gaz dans la proportion voulue pour constituer le meilleur mélange. Celui-ci est admis pendant toute la durée de la course du piston moteur. La vitesse vient-elle à augmenter, le régulateur fait descendre la lanterne, ce qui a pour effet d'obturer les lumières du gaz et d'appauvrir le mélange; à la limite de l'action du régulateur, il n'arrivera plus de gaz et le cylindre ne sera alimenté que d'air pur. Comme l'afflux de l'air n'est jamais coupé, la compression reste constante.

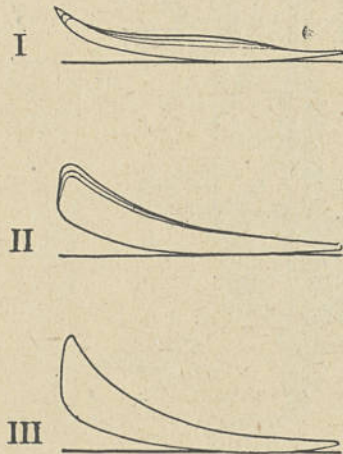


Fig. 180. — Diagrammes Cockerill.

Un modérateur, monté sur la conduite d'amenée du gaz, donne la possibilité de disposer de la composition du mélange le plus riche, suivant la qualité des quelques combustibles et les besoins du travail, pour lequel une surcharge est à envisager.

Les diagrammes de la figure 180 correspondent 1<sup>o</sup>, à la marche à vide, 2<sup>o</sup> à la marche normale et 3<sup>o</sup> à la surcharge : on voit que, dans le premier cas, il ne se produit pas de ratés d'allumage, et que, dans le dernier cas, la pression explosive ne dépasse pas 23 kilogrammes par centimètre carré, pour une compression égale à environ 10 kilogrammes. Le troisième diagramme correspond

1. Voir sur le sujet : HUBERT, « Les perfectionnements apportés récemment par la Société Cockerill aux grands moteurs à gaz pauvre », *Revue universelle des mines*, 1<sup>er</sup> mars 1921.



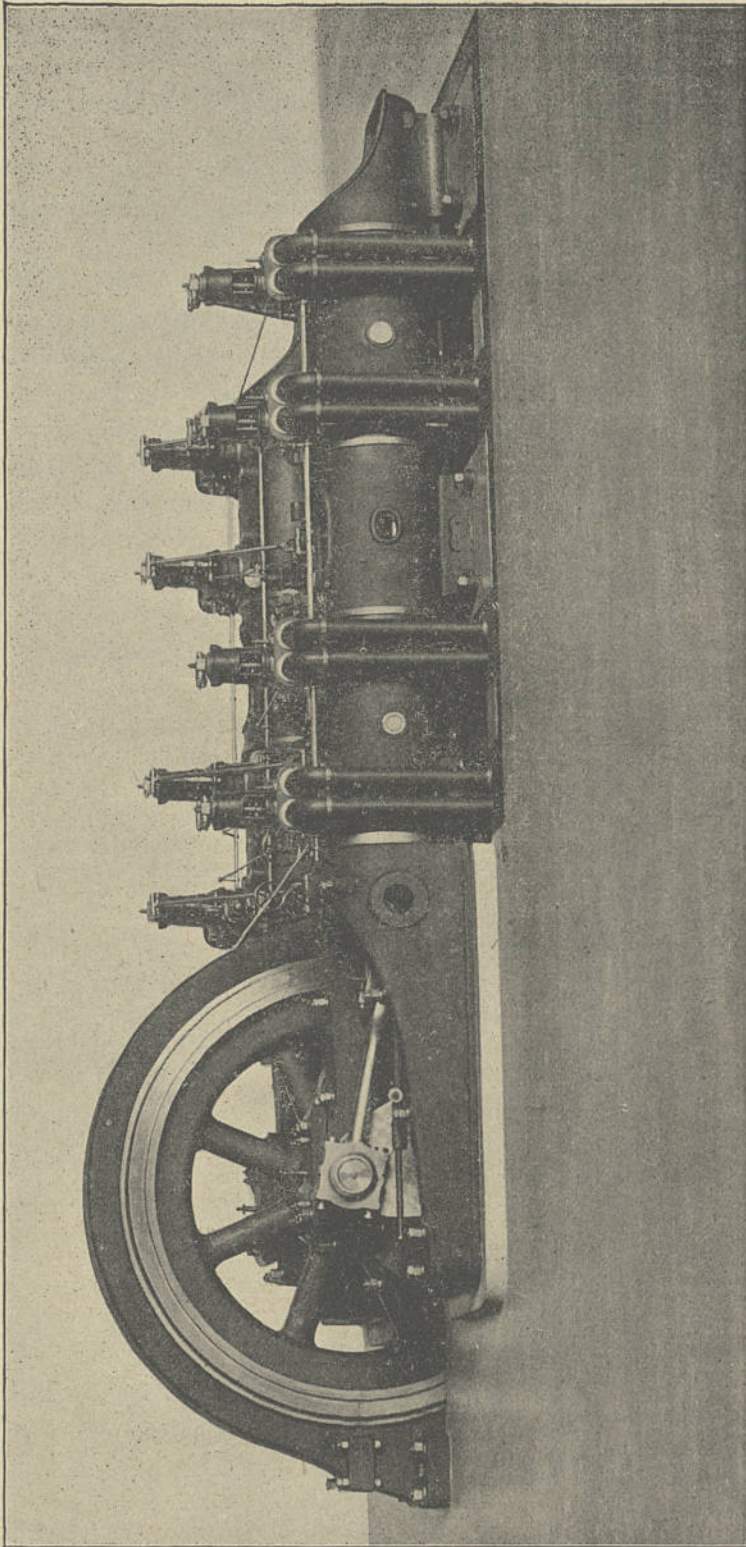


Fig. 181. — Type Cockerill de 8.000 chevaux.



à une pression moyenne de 5 kg. 75. Mais la maison Cockerill m'a communiqué un diagramme pour lequel la pression moyenne a atteint 7 kg. 20, ce qui était une valeur inconnue à ce jour pour un moteur à gaz de haut fourneau ; avec du gaz de four à coke, on a obtenu 7 kg. 80.

La figure 181 montre la nouvelle machine Cockerill, du type de 8.000 chevaux : sa consommation garantie est de 2.150 calories, en la calculant d'après le pouvoir supérieur du gaz.

L'histoire de cette machine est intéressante : elle était en construction en août 1914, lors de l'invasion allemande ; les perfides violateurs de la neutralité belge invitèrent la Société Cockerill à en achever le montage et à en effectuer la mise en marche ; mais, aussitôt qu'ils eurent pu apprécier la valeur de ce nouveau type, ils le réquisitionnèrent et le transportèrent dans une usine de Duisbourg, où il fut retrouvé en marche après la conclusion de l'armistice. Ce ne fut pas sans difficulté que le moteur revint dans les ateliers qu'il n'aurait jamais dû quitter.

Voici, d'après le prospectus Cockerill, les caractéristiques des moteurs, pour groupes électrogènes :

| TYPE TANDEM                 |                  |                   |                   |                     |                     |                     |
|-----------------------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Puissance....               | { indiquée.....  | 1.200 ch.         | 1.750 ch.         | 2.500 ch.           | 3.300 ch.           | 4.250 ch.           |
|                             | { effective..... | 1.000 —           | 1.500 —           | 2.100 —             | 2.800 —             | 3.600 —             |
| Diamètre des cylindres..... |                  | 700 $\frac{m}{m}$ | 850 $\frac{m}{m}$ | 1.000 $\frac{m}{m}$ | 1.150 $\frac{m}{m}$ | 1.300 $\frac{m}{m}$ |
| Course des pistons.....     |                  | 1 m. 200          | 1 m. 300          | 1 m. 400            | 1 m. 400            | 1 m. 500            |
| Nombre de tours-minute..... |                  | 115               | 107               | 100                 | 100                 | 94                  |
| TYPE DOUBLE TANDEM          |                  |                   |                   |                     |                     |                     |
| Puissance....               | { indiquée.....  | 2.400 ch.         | 3.500 ch.         | 5.000 ch.           | 6.600 ch.           | 8.500 ch.           |
|                             | { effective..... | 2.060 —           | 3.100 —           | 4.350 —             | 5.800 —             | 7.400 —             |
| Diamètre des cylindres..... |                  | 700 $\frac{m}{m}$ | 850 $\frac{m}{m}$ | 1.000 $\frac{m}{m}$ | 1.150 $\frac{m}{m}$ | 1.300 $\frac{m}{m}$ |
| Course des pistons.....     |                  | 1 m. 200          | 1 m. 300          | 1.400               | 1 m. 400            | 1 m. 500            |
| Nombre de tours-minute..... |                  | 115               | 107               | 100                 | 100                 | 94                  |

Je copie d'autre part le tableau des moteurs construits à ce jour.

| Puissance.         | Nombre. | Puissance.             | Nombre. |
|--------------------|---------|------------------------|---------|
| 100 à 600 chevaux. | 54      | 2.000 à 3.000 chevaux. | 36      |
| 600 à 1.000 —      | 78      | 3.000 à 4.000 —        | 7       |
| 1.000 à 1.500 —    | 74      | 4.000 à 8.000 —        | 2       |
| 1.500 à 2.000 —    | 19      |                        |         |

Cela fait un total de 279 machines développant 307.950 chevaux.



## 5. Moteur Schneider-Creusot.

MM. Schneider et C<sup>ie</sup> ont débuté dans la construction des moteurs à gaz à la suite de Delamare-Deboutteville et de la maison Cockerill, en l'année 1900; mais, dès 1905, ils faisaient breveter des dispositions nouvelles et originales, et aujourd'hui leur moteur doit être rangé parmi les meilleurs. Les ateliers du Creusot ont sauvé l'honneur de la mécanique nationale dans le domaine des puissantes machines à gaz, comme ils l'avaient fait dans d'autres domaines : nous décrirons avec soin ce beau moteur, français d'origine, de conception et de fabrication, et qui ne paie aucune redevance aux ingénieurs étrangers, trop habitués à nous céder des licences et trop enclins à croire que nous ne pouvons nous en passer.

La belle photographie de la figure 182, qu'on nous a permis de reproduire, et la coupe de la figure 183, nous donneront le moyen de faire ressortir et de mettre en lumière les éléments caractéristiques des puissants moteurs, à double effet à deux cylindres en tandem du Creusot, qui distribuent l'électricité et le vent à nos grands établissements métallurgiques.

Passons rapidement sur les dispositions communes à toutes les constructions : nous nous contenterons de signaler la solide assiette du bâti, qui ménage un accès facile aux soupapes de décharge sans affaiblir le massif des fondations. Les cylindres fortement assujettis au bâti, sans tirants d'entretoisement disgracieux et inutiles, habilement dessinés pour résister aux efforts mécaniques et aux effets de dilatation, la circulation d'eau assurant une réfrigération énergique et égale de tous les organes exposés à chauffer, le graissage abondant sous pression des articulations et des surfaces frottantes, etc., sont des détails que nous nous contenterons d'indiquer; ils ne diffèrent guère de ce que nous avons déjà vu dans les monographies précédentes.

Le réglage est effectué par une admission variable de mélange tonnant à teneur constante, la compression restant également constante.

A cet effet, le piston aspire d'abord de l'air pur pendant un temps plus ou moins long, suivant la charge de la machine; il appelle ensuite du mélange jusqu'à la fin de la course; la cylindrée est donc toujours remplie de même, ce qui maintient la constance de la compression. L'invariabilité de cette compression permet de neutraliser à toute charge les efforts d'inertie et de maintenir un bon régime de combustion; d'autre part, malgré la diffusion, qui n'autorise guère à garder l'illusion d'une stratification des tranches, on peut croire qu'un mélange relativement riche se trouve localisé au voisinage de l'inflamateur, placé tout contre la soupape d'admission. L'allumage s'effectue donc bien pour toutes les charges.

Le dispositif de distribution est représenté sur la figure 183, qui montre



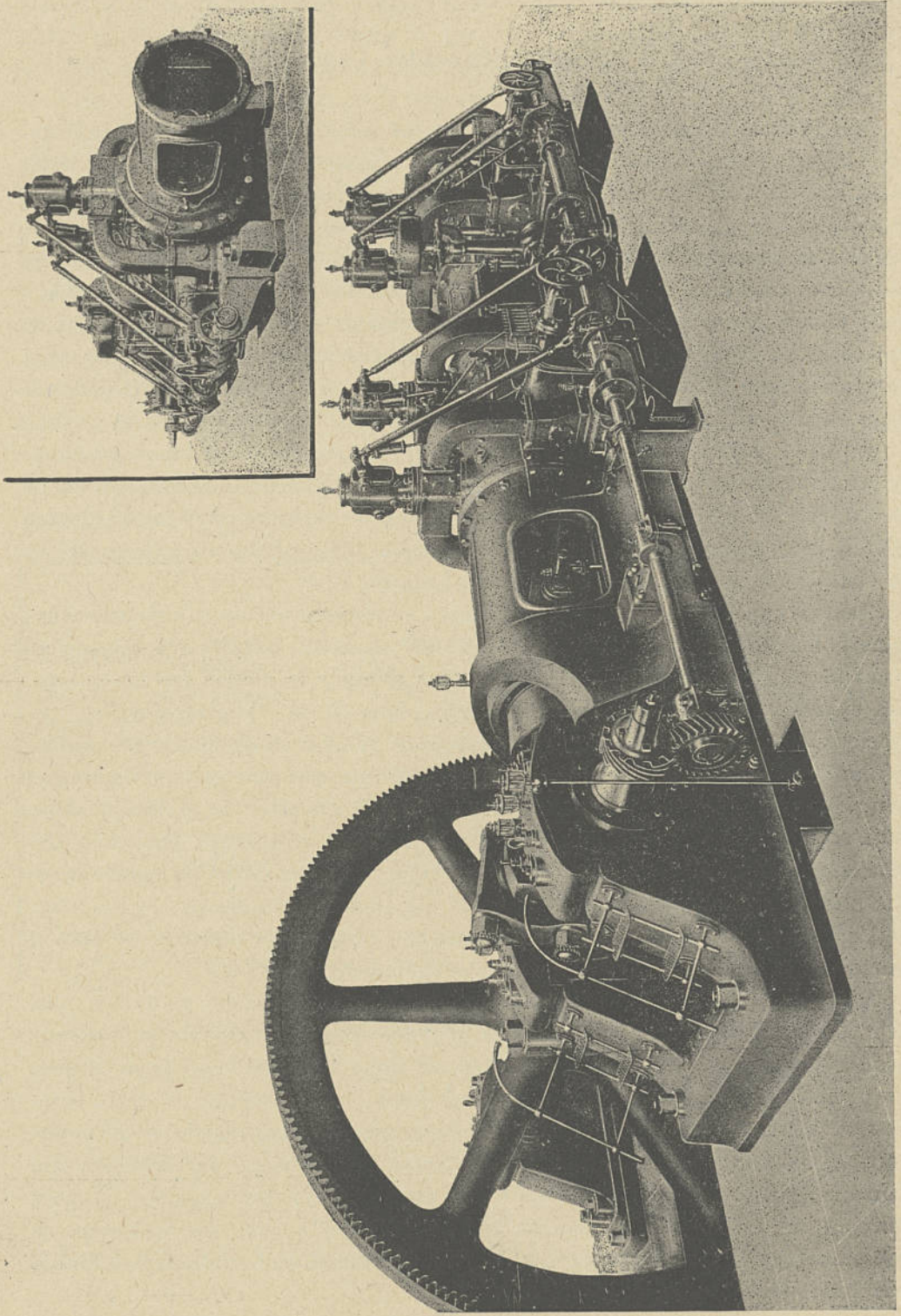


Fig. 181. — Type Goeckerill de 8.000 chevaux.



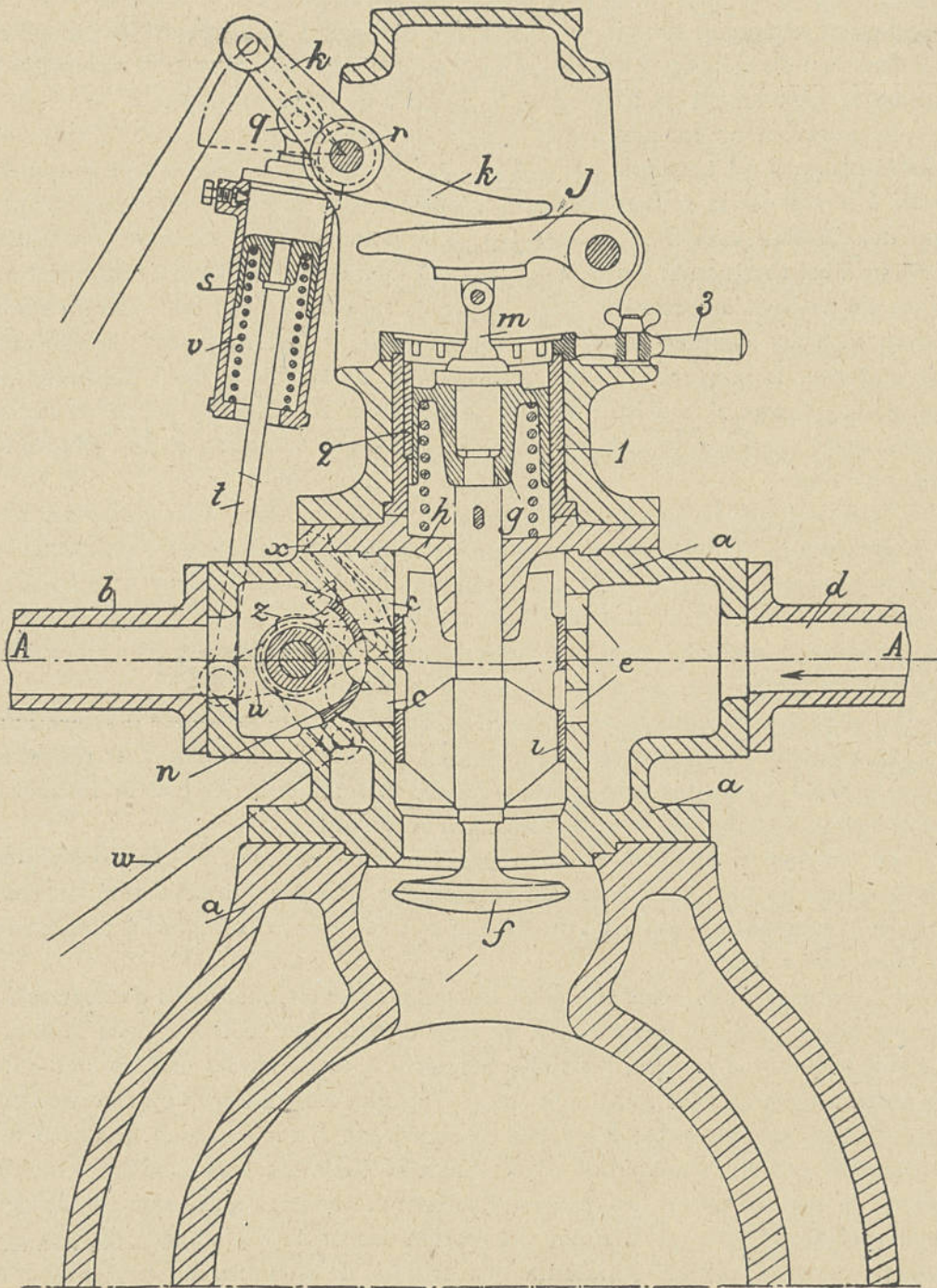


Fig. 183. — Distribution du Creusot.

la position des organes au moment où le piston moteur quitte son point mort, au début de la course d'aspiration. La boîte à mélange *a* reçoit le gaz par la



tubulure *b* et les orifices *c* ; l'air accède par la tubulure *d* et les orifices *e*. La soupape d'admission se voit en *f*, avec son guidage *g*, et le ressort de rappel *h*. La lanterne de mélange *i* est centrée sur la tige de la soupape *a*, et assujettie à suivre le mouvement de levée et de fermeture de cette soupape.

Le mouvement est pris sur le collier de l'excentrique placé sur l'arbre de distribution ; il est transmis par une tringle, attaquant les leviers *k* et *j*, celui-ci relié à la tige de la soupape *f* par la rotule *m*. Cet ensemble est complété par un distributeur rotatif *n*, qui constitue la nouveauté du système. Ce distributeur *n* est commandé par le levier *q* calé à l'extrémité de l'arbre *r* du levier *k* ; *s* est un dashpot amortisseur, *v* un ressort de rappel ; la tige *t* est articulée sur le levier *u*. Voici comment fonctionne cet appareil ; le piston moteur aspirant sur la lanterne, la soupape *f* et la lanterne *i* se soulèvent ; celle-ci découvre les orifices *c* de gaz et *e* d'air : mais le distributeur *n*, accroché par le déclic *xy* (représenté en pointillé), ne laisse point encore passer de gaz et le cylindre se remplit d'air.

Tout à coup, la touche *z*, placée sous la dépendance du régulateur, par l'intermédiaire de la barre *w* et d'une transmission quelconque, provoque le décrochage des couteaux *x* et *y*, en rendant libre le distributeur *n* ; obéissant aussitôt au ressort *v*, celui-ci découvre les lumières *c* et le gaz envahit la boîte, en formant un mélange, dont la qualité dépend d'une adaptation faite à la main, suivant la qualité du gaz dont s'alimente le moteur.

Ce mélange sera admis au cylindre jusqu'à la fin de la course d'aspiration.

La soupape *f* et la lanterne *i* se ferment par l'action du ressort de rappel *h*, puis le levier *k*, ramené à sa position basse, entraîne le levier *q* et le dashpot *s* et remet le distributeur *n* à sa position d'accrochage.

Le mélange le meilleur, pour les conditions de richesse, de température et de pression du gaz, est fourni par la lanterne, grâce à l'intervention du conducteur, et maintenu par elle, quelle que soit sa levée ; c'est ce qu'il nous reste à faire comprendre.

La lanterne *i* est formée de deux collerettes pleines, marquées des lettres *ii*, reliées entre elles par une fraction de toile cylindrique prolongée vers le haut. Quand la lanterne se lève, ces toiles recouvrent en partie les orifices *c* et *e* de la boîte à mélange. Or, imaginons qu'on imprime à la lanterne un mouvement de rotation sur son axe ; les toiles découvriront d'une certaine quantité les orifices de gaz et recouvriront d'une quantité égale les orifices d'air ou *vice-versa* ; la section totale des orifices d'arrivée ne variera pas, mais le dosage sera modifié. D'autre part, comme la section des orifices d'amenée du gaz est supérieure à la section maximum des orifices de la lanterne, le dosage est indépendant de la quantité admise et, par suite, du point de la course du piston où commence l'introduction du mélange dans le cylindre.

Comment s'opère la rotation de la lanterne que nous venons de considérer ? Elle s'effectue à la main, par le levier 3 et par une cale, passant dans une canne-



lure du coulisseau *g*. Une fois le dosage convenable obtenu par la manœuvre susdite, le conducteur serre un écrou à oreilles, visible sur notre dessin, pour tout maintenir en place, aussi longtemps que cela pourra durer.

Le dispositif et la manœuvre des organes de la décharge ne diffère pas de ce qui se fait habituellement, mais le calage de l'excentrique est effectué de manière à donner une certaine avance à l'échappement et un léger retard à la fermeture de la soupape.

La mise en route se fait à l'air comprimé d'une manière très élégante. La pression de l'air est utilisée pour mettre en prise 4 cames disposées sur l'arbre de distribution, et commandant 4 valves spéciales; celles-ci admettent l'air comprimé sur chaque effet, en même temps qu'un organe de décompression entre en action. La pression de 10 à 12 kilos de l'air, contenu dans un réservoir, suffit pour donner au bout d'un temps très court au volant l'accélération nécessaire pour un bon départ; après quoi, en tournant un robinet, les cames sont mises hors de jeu et l'admission d'air est coupée.

MM. Schneider et C<sup>ie</sup> garantissaient, en 1910, des consommations de 2.400 calories (au pouvoir supérieur du gaz), 40 litres d'eau prise à 15° et 15 grammes d'huile par cheval-heure effectif; nos essais ont prouvé qu'ils obtenaient de meilleurs résultats.

En effet, le groupe électrogène installé aux Acéries de Longwy, composé de deux machines à double effet tandem (1), m'a donné le kilowatt-heure par environ 3.150 calories et le cheval-heure effectif par 2.200 calories, pouvoir supérieur du gaz; on consomma par cheval-heure 35 litres d'eau et 1,46 gramme d'huile et graisse. La puissance de ce moteur était de 2.200 chevaux; le diamètre du cylindre mesurait 900 millimètres et la course 1 m. 100; la vitesse était réglée à 100 tours.

Depuis lors, la puissance des moteurs du Creusot a encore augmenté, et ils ont reçu de nouveaux perfectionnements, suggérés par une pratique industrielle, judicieusement poursuivie et intelligemment observée.

Au lieu de construire les cylindres en fonte dure et sans chemisage, on a cru préférable de les couler en une fonte spéciale, se prêtant bien aux dilatactions, et de les munir d'une chemise à frottement. Les pistons sont en acier moulé. On s'est efforcé d'augmenter la précision des mécanismes et la rapidité des démontages, de faciliter l'entretien des organes et de simplifier leur surveillance.

Le dispositif de distribution à compression constante, décrit ci-dessus, n'a pas été abandonné, mais on le réserve généralement pour les soufflantes, qui marchent habituellement à pleine charge et ne subissent presque pas d'écarts de puissance. Les groupes électrogènes s'accommodent mieux au contraire du réglage à admission variable d'un mélange de teneur constante, qui présente

1. Cf. tome I, page 572.



plus de souplesse. Ce type a été longuement étudié pour répondre aux plus grandes exigences des cahiers des charges.

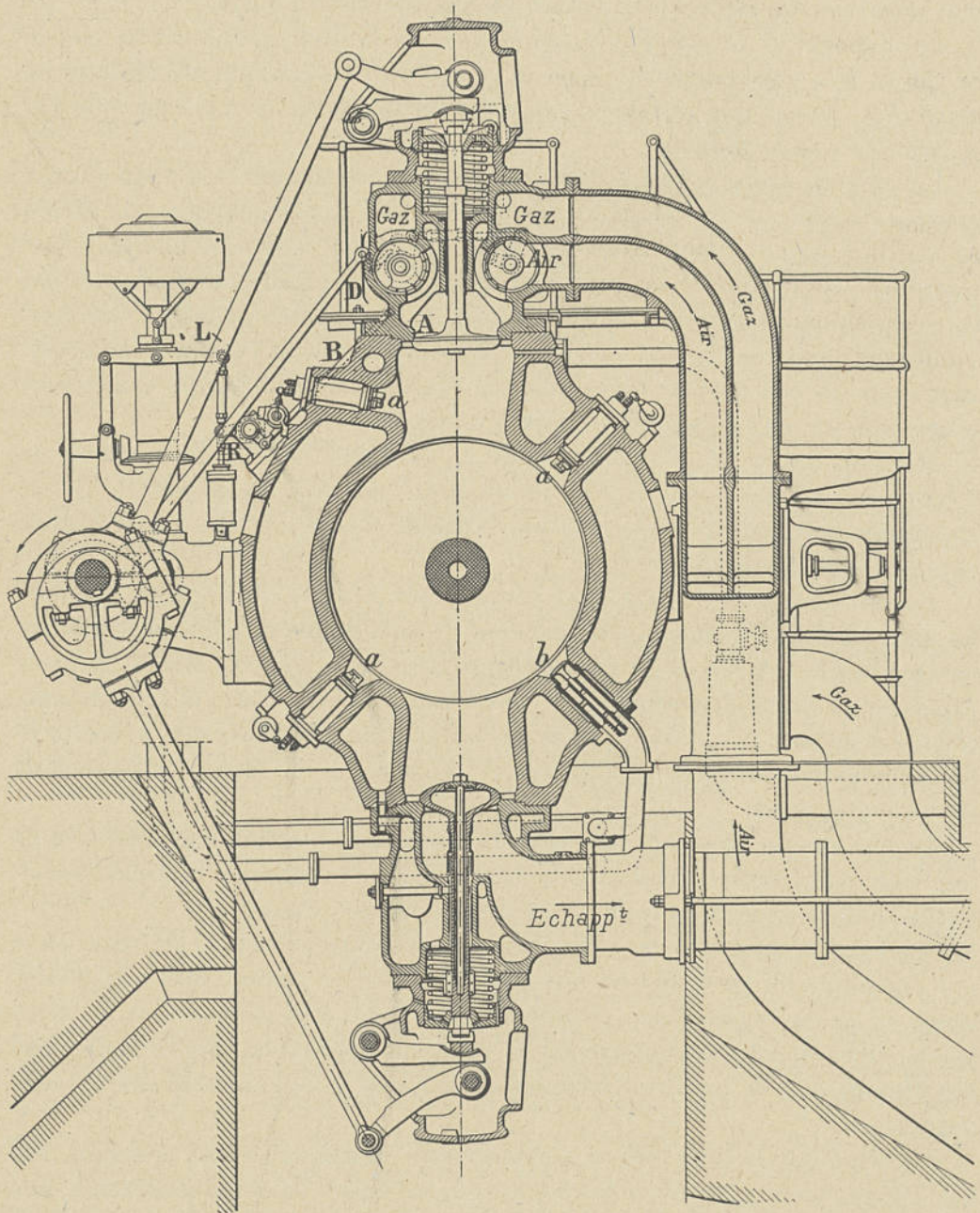


Fig. 184. — Nouvelle distribution du Creusot.

Ses organes de distribution sont représentés sur la figure 184. ! ' 1

L'admission est effectuée par la soupape A de mélange, servie par deux tiroirs cylindriques à axe horizontal, assez semblables à des tiroirs Corliss, l'un



qui livre passage à l'air, l'autre au gaz : ces deux tiroirs sont reliés extérieurement par une tringle de connexion. Ils sont commandés par un mécanisme à déclic D, placé sous la dépendance du régulateur. La distribution s'opère de la manière qui suit. Au début de la course d'aspiration, la soupape A est soulevée par le long levier L; en même temps, les tiroirs cylindriques découvrent les orifices d'entrée d'air et de gaz, jusqu'au moment où le déclic fonctionne et met fin à l'admission. Les tiroirs sont alors vivement ramenés en arrière par un ressort énergique, mais à action amortie par un dashpot. La soupape de mélange ne se ferme que lorsque le piston moteur a achevé sa course. Les ingénieurs qui ont dessiné cette distribution nous ont fait remarquer que la disposition des tiroirs est telle que la section des orifices qu'ils découvrent reste inférieure à la section de la soupape de mélange, d'où l'on infère qu'un parfait dosage du mélange tonnant est toujours assuré. Ils sont du reste munis d'un mécanisme de commande à la main, qui permet de modifier en marche la valeur des sections des orifices.

Le Creusot a fourni aux grands établissements sidérurgiques de France de l'Est et du Centre des machines qui peuvent concourir à tous égards avec celles de France et de l'étranger.

## 6. Moteur de la Société Alsacienne.

Redevenue entièrement française par la réannexion de l'Alsace, cette puissante société contribuera plus activement encore à affranchir notre pays de l'emprise de la construction étrangère, qui usurpait dans nos usines une place que nos ateliers n'auraient jamais dû abandonner.

La longue pratique acquise par les habiles ingénieurs de Mulhouse et Belfort dans la construction des machines à vapeur, et l'apprentissage spécial qu'ils ont fait de la question, en collaboration avec la Société Cockerill, leur ont permis d'établir un type original de puissant moteur, qui peut prendre place parmi les meilleurs et les mieux étudiés.

Nous décrirons d'abord le type à double effet de 1905.

Le bâti est à deux longerons symétriques, solidement reliés par les glissières des patins de crosse et par les collecteurs d'huile. Les cylindres sont portés par des brides résistantes, venues de fonte avec le bâti, les entretoises et la glissière arrière. On a cherché à simplifier leurs formes le plus possible; leur enveloppe ne fait corps avec eux que dans les deux bouts; la partie moyenne est constituée par une pièce rapportée, amovible, faite en deux pièces, occupant environ le tiers de la longueur. Cette construction a été adoptée dans le but de réduire au minimum les tensions initiales, de permettre au cylindre de se dilater indépendamment de l'enveloppe et de se prêter à un nettoyage facile et parfait de la chambre d'eau. Les fonds sont des couvercles en fonte creux,



refroidis par circulation d'eau; les glissières sont elles-mêmes refroidies. Les pistons, coulés d'une pièce, en fonte, sont traversés par un courant d'eau, qui entre dans la tige par l'avant par un trombone fixé à la crosse, et s'écoule librement dans un bac porté par la glissière d'arrière.

Les stuffing-box ont été étudiés avec un grand soin; la partie arrière de la boîte (du côté du cylindre) renferme 16 segments en fonte, analogues à des cercles de piston, logés deux par deux dans des anneaux du même métal; elle communique avec la chambre d'huile. La partie antérieure à serrage est garnie d'un bourrage élastique incombustible.

L'accouplement des tiges s'effectue à l'aide d'un manchon fileté, en deux parties, qu'il est facile de démonter; l'entretoise, reliant les cylindres, forme glissière et offre une grande ouverture, ne gênant nullement aucune manœuvre; les fonds se glissent sur les tiges, quand on veut visiter les pistons ou les cylindres.

Les soupapes d'admission et d'échappement, montées sur un même axe vertical, sont disposées aux extrémités des cylindres.

L'arbre de distribution est coupé en trois morceaux réunis par des manchons d'accouplement, permettant des différences de dilatation entre cet arbre et la machine; cet arbre est commandé par deux roues d'angle en acier taillé.

La commande des soupapes d'admission et d'échappement est faite par un double excentrique; le mouvement est transmis par leviers roulants.

Le réglage est quantitatif.

La soupape d'admission, en acier forgé, et la lanterne à mélange, en fonte, ont un axe commun; le gaz arrive à la lanterne sur une demi-circonférence, l'air sur l'autre moitié; la rencontre des deux courants contribue à la diffusion du combustible dans le comburant. La soupape ouvre passage au mélange en s'abaissant; la lanterne coupe l'accès du gaz en retombant, sous l'action d'un dé clic et d'un fort ressort, dont l'effet est modéré par un dashpot.

La lanterne est soumise au régulateur; le mécanisme à dé clic la soulève en même temps qu'elle s'abaisse la soupape d'admission, dès le début de la course d'aspiration; un butoir, déplacé par le régulateur, fait agir le dé clic au moment convenable et limite la quantité de mélange admis. Il est inutile de dire que la compression diminue avec la quantité admise. Le prospectus de la Société affirme que « cela n'empêche pas le mélange d'être encore parfaitement inflammable jusqu'aux plus petites admissions en marche à vide ». Cet excellent résultat peut être attribué à la multiplication des magnétos d'allumage, sur chaque effet; on les dispose du reste très rationnellement aux points où l'étincelle assure la meilleure mise de feu.

La circulation d'eau dans tous les organes est garantie par une pression suffisante pour produire une réfrigération énergique. Les coussinets des paliers de l'arbre de couche sont eux-mêmes rafraîchis par un courant d'eau, ce qui a permis de les garnir de métal antifriction sans crainte de fusion.



On estime au plus la dépense d'eau à 40 litres par cheval-heure effectif, même en été.

La consommation d'huile ne dépasse pas 1,5 à 2 grammes par cheval-heure effectif. Le graissage des cylindres, stuffing-box et tiges de soupapes se fait sous pression : il est visible et réglable séparément pour chaque organe. Les autres pièces (paliers, glissières, coussinets de bielle, etc.) sont graissées à l'huile minérale, distribuée par un graissage central au moyen de compte-gouttes à débit visible et réglable.

La construction de ces machines a encore reçu de notables perfectionnements en 1912 et depuis la guerre.

Les organes d'admission ont été sensiblement modifiés. La quantité de mélange admis varie encore avec la charge; à cet effet, on fait varier la levée des soupapes au moyen d'une barre d'excentrique brisée dont l'articulation, et par suite la longueur, est sous la dépendance du régulateur. Les tiroirs d'air et de gaz subissent les mêmes variations de levée, ce qui maintient la constance de composition du mélange. Un premier réglage s'opère dès lors par laminage, les organes d'étranglement se trouvant au voisinage immédiat de la soupape d'admission, de sorte que, dans le cas d'une diminution subite de la charge, il ne reste entre le réglage et l'entrée au cylindre qu'un volume minimum de gaz échappant au contrôle du régulateur pour l'admission suivante. Cette condition prend de l'importance, quand on alimente le moteur de gaz riches sous forte pression : elle n'est pas réalisée dans les distributions à dé clic. A noter que la bielle brisée est en dehors de la distribution proprement dite et qu'elle ne peut être encrassée. On peut suivre notre description sur les figures 185, 186 et 187.

Ce réglage quantitatif est très efficace quand la machine fonctionne à pleine charge; mais lorsque cette charge est réduite, la compression diminue, ce qui présente des inconvénients que nous avons déjà signalés et sur lesquels nous ne reviendrons plus. On recourt alors à un réglage mixte, à la fois qualitatif et quantitatif, que l'on réalise en faisant varier la section des orifices d'adduction du gaz et les recouvrements, en même temps que se modifie la levée des soupapes. On obtient ainsi toutes les graduations désirées, en même temps que s'effectue un balayage de la boîte à mélange et de la chambre de compression. On a supprimé tous les papillons réglables à la main; une vanne, commandée depuis le poste du machiniste, permet à celui-ci de parer aux variations de condition des gaz, pression, température et pouvoir calorifique.

Dans les moteurs à gaz de four à coke, un réglage plus précis du mélange s'impose; un mécanisme spécial permet alors de le modifier à la marche, par une rotation des soupapes d'admission et des tiroirs d'air et de gaz calés sur leurs tiges. Ce mécanisme, commandé par chaînes depuis le plancher de la salle, actionne simultanément les quatre soupapes d'admission d'une ligne de cylindres, ou isolément chaque soupape; on obvie ainsi aux variations du gaz



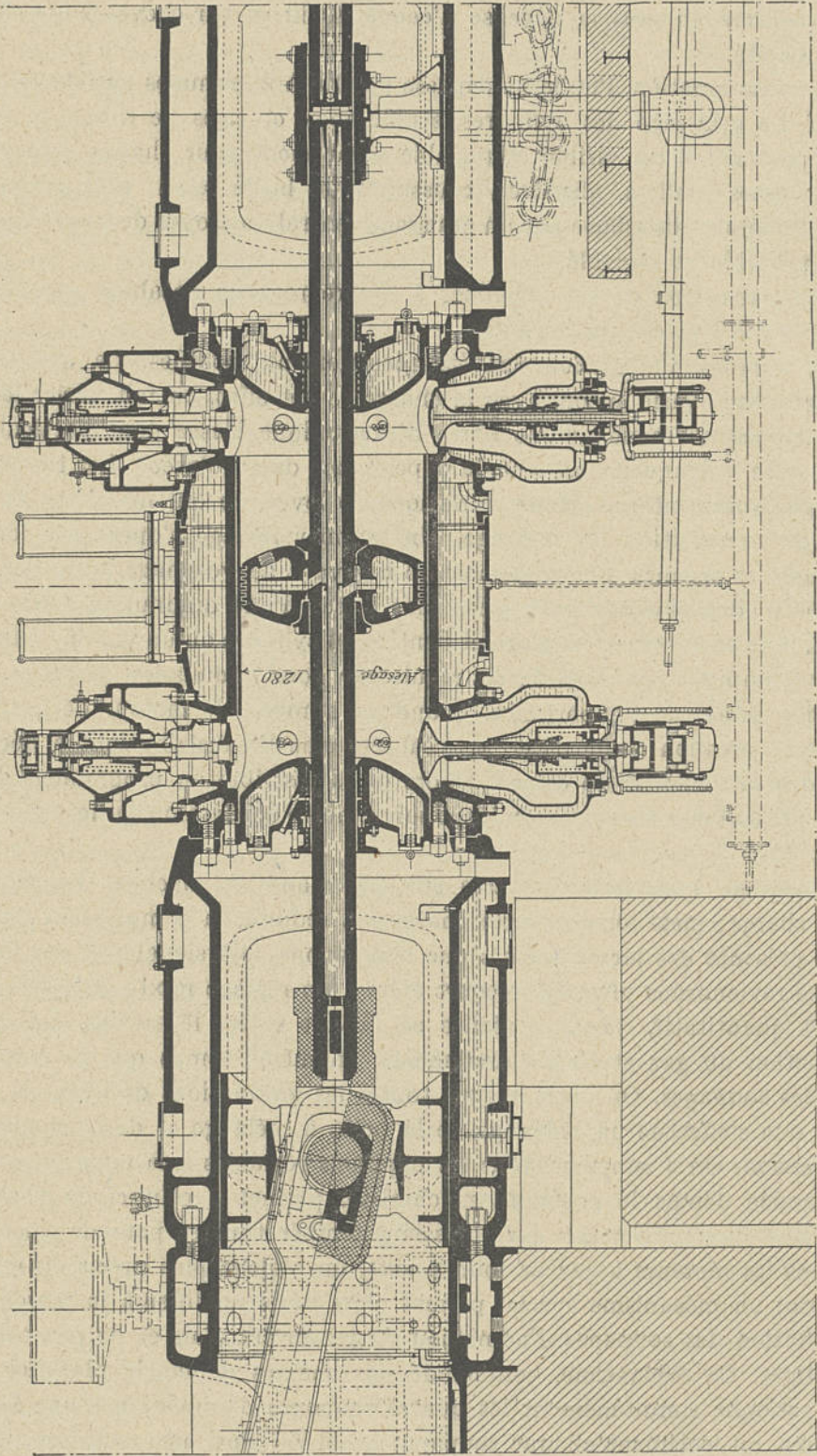


Fig. 185. — Moteur de la Société Alsacienne.



et l'on se donne le moyen d'égaliser en marche les pressions moyennes de chaque côté du cylindre.

La disposition d'ensemble des machines a aussi reçu des modifications,

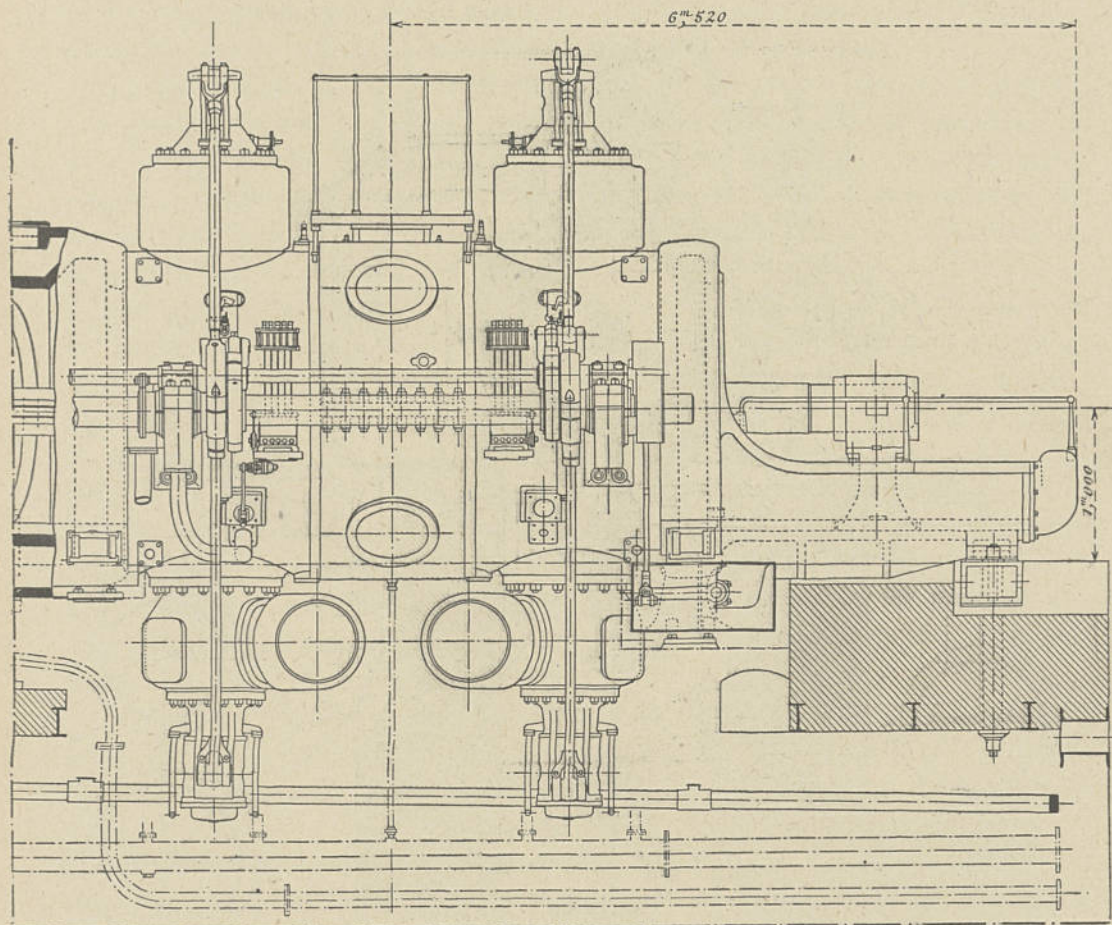


Fig. 186. — Vue latérale du moteur de la Société Alsacienne.

dont on peut se rendre compte par l'examen attentif des détails de nos figures.

Le palier moteur, du type à fourche, est profondément encastré dans les fondations : on le forme de deux pièces distinctes, les paliers proprement dits, avec l'auge de manivelle qui les relie et, d'autre part, un prolongement portant la glissière de la crosse; cette deuxième partie s'emboîte solidement sur les deux fortes poutres, se rejoignant en couronne, qui terminent l'auge. Cette construction en deux parties distinctes du bâti palier facilite grandement le transport et le montage de cette pièce, qui est la plus lourde du moteur.

Dans le but de réduire au minimum les déformations du bâti, on répartit les sections des poutres symétriquement par rapport à l'axe de la machine, de sorte que ces pièces ne subissent que des efforts de compression et de traction, mais non de flexion.



Les entretoises entre cylindres sont constituées par deux poutres très rigides, travaillant exclusivement à la traction. Les patins sont supprimés. De larges ouvertures facilitent la surveillance en marche; en se plaçant à côté de n'importe

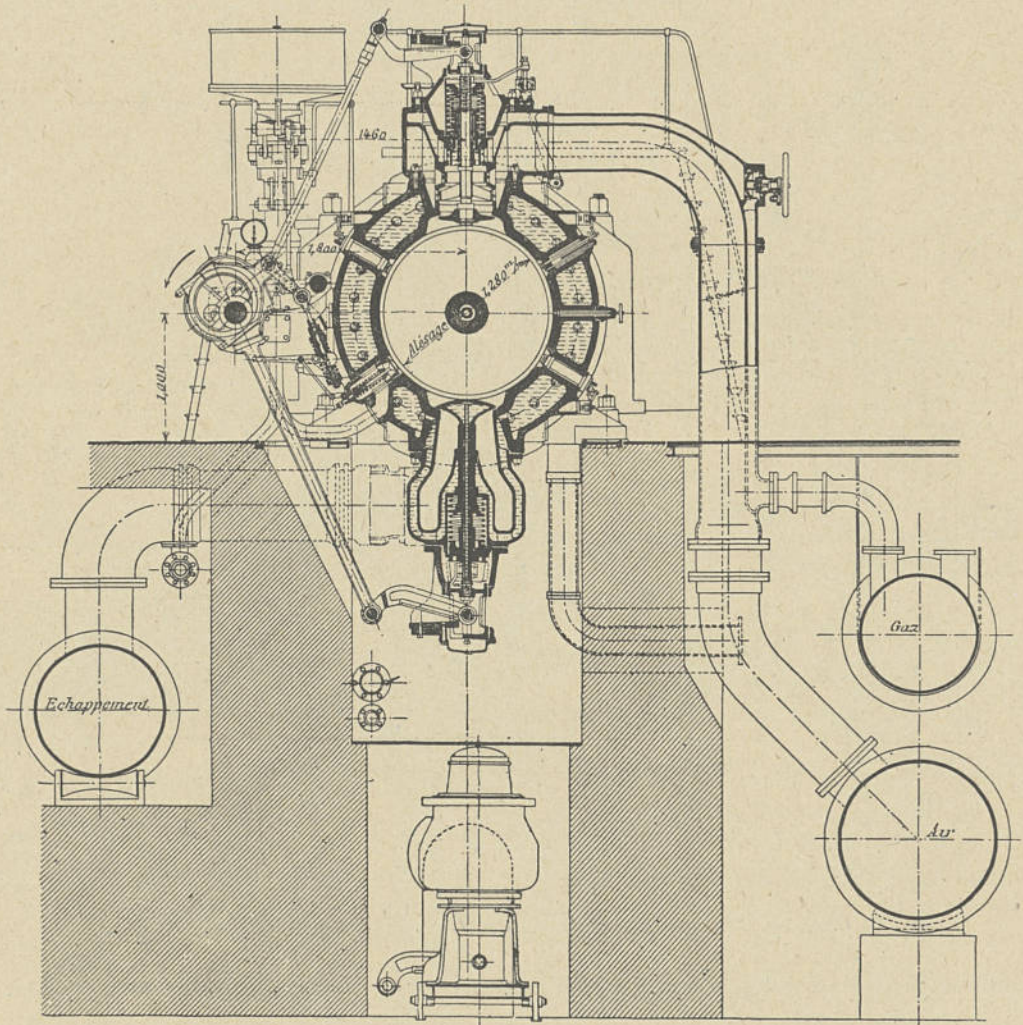


Fig. 187. — Coupe du moteur de la Société Alsacienne.

quelle machine, on peut se rendre compte de la marche de toutes les autres; il en résulte aussi de grandes commodités pour les réparations.

Sous les pieds des entretoises qui forment les points d'appui du moteur sur le massif des fondations, on dispose un système de béquilles, qui permet une libre dilatation des pièces de la machine, et une rectification aisée en cas de déformation sous l'action de la chaleur, tout en supprimant complètement les réactions sur les maçonneries, de même que les grippements des pieds sur les plaques de fondation.



L'application de guidages à l'arrière du second cylindre a rendu inutile la glissière d'arrière, ce qui simplifie le démontage du fond de cylindre.

L'arbre moteur est en acier forgé, avec manivelles mises à chaud. Cette construction semble préférable à celle des arbres forgés d'une pièce; elle permet d'exécuter les tourillons de manivelle en acier spécial au nickel.

La bielle motrice, en acier Martin forgé, a une grosse tête, type marine, avec boulons en acier au nickel, coussinets en acier moulé, garnis d'antifriction, avec mises pour réglage de jeu. Le pied de bielle est à tête fermée, avec rattrapage de jeu par coins à serrage transversal; les mises peuvent être retirées sans démontage des têtes. La coquille porte le tourillon du pied de bielle; elle est reliée à la tige du piston par un assemblage à clavette.

Les tiges de piston sont supportées par les guidages articulés, disposés dans les fonds des cylindres, donc le plus près possible du piston et des garnitures; contrairement à ce que préconisent d'autres constructeurs, les tiges ne présentent pas de contre-flèche de fabrication. La suppression des patins diminue les masses en mouvement. Les pistons, coulés d'une pièce, sont pris entre deux cônes. Le manchon d'accouplement des tiges se compose de deux moitiés serrées, au moyen de boulons, sur les parties cylindriques des deux tiges; des parties filetées supportent les efforts de traction, une clavette intercalée prend la compression. Le manchon porte la tubulure d'arrivée et de sortie d'eau pour les pistons, sur laquelle viennent s'articuler deux genouillères indépendantes.

L'allumage est effectué par étincelle de rupture à basse tension, avec frappeurs alimentés par une batterie d'accumulateurs à 70 volts; il y a toujours deux et souvent trois points d'allumage par effet. L'avance est variable à la main.

La mise en marche s'obtient par des distributeurs automatiques à l'air comprimé, sous 18 kilogrammes de pression; un vireur électrique amène le moteur à sa position de départ.

Les grandes centrales sont alimentées d'eau pour la réfrigération par deux circuits, avec réservoirs indépendants, l'un à basse pression de 2 kilogrammes, l'autre à 6 kilogrammes, sans pompe de surpression spéciale à chaque machine. On s'efforce de ne pas dépasser une température de 50° à la sortie de l'eau, ce qui exige une dépense de 25 à 35 litres par cheval et par heure.

La Société Alsacienne a fourni des moteurs à un grand nombre d'établissements de France et de l'étranger : leur puissance totale s'élève à des milliers de chevaux, dont ses prospectus ne font pas le pompeux étalage. Je signalerai seulement ses dernières livraisons de deux machines de 6.000 chevaux à l'usine d'Isbergues, de la Société des Aciéries de France, pour gaz de fours à coke, et de sept groupes électrogènes de 4.000 chevaux, ainsi que de quatre soufflantes à gaz de hauts fourneaux, pour la Station d'Escaudain, de la Société des hauts fourneaux, forges et aciéries de Denain-Anzin. Elle a aussi monté des centrales



à Caen, à Makewka, etc., et ses ateliers de Mulhouse et de Belfort sont en train d'en construire d'autres, d'une importance toujours croissante, dont on n'entrevoit presque pas la limite.

Les moteurs de 6.000 chevaux, à gaz de fours à coke, ont un diamètre des cylindres de 1.280 millimètres, avec une course de 1 m. 500, et ils font 94 tours par minute; pour les soufflantes de 2.150 chevaux, les cylindres à gaz et les cylindres à vent mesurent respectivement 1.200 et 2.600 millimètres, pour une course de 1 m. 400 et ils sont réglés à 80 révolutions.

### 7. Moteur des Établissements Cail.

La Société française de constructions mécaniques (anciens établissements Cail), dont les ateliers sont aujourd'hui à Douai et à Denain, dans le Nord, avait établi un type de moteur à double effet, qui a été construit par la participation Schneider, Société Alsacienne et Société Cail, dont nous nous reprochions de ne pas mentionner ici les caractéristiques.

Les boîtes de distribution, au nombre de deux, sont placées latéralement à chaque extrémité du cylindre; la soupape d'admission et celle d'échappement sont disposées l'une au-dessus de l'autre, sur un même axe vertical. Pour visiter ces organes, on enlève le couvercle supérieur de la boîte de distribution, qui porte les distributeurs d'admission; on n'a à toucher à aucun organe de distribution.

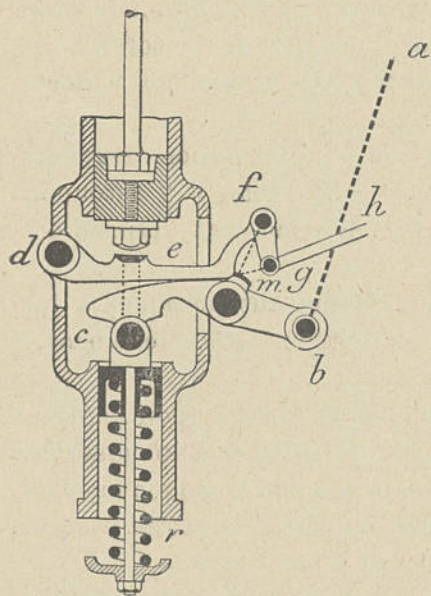


Fig. 188. — Verrouillage Cail de la soupape d'échappement.

La régulation du moteur est obtenue par l'admission en quantité variable, par déclie, d'un mélange tonnant à dosage constant. Les mécanismes d'admission et de décharge sont pourvus de dispositifs spéciaux, s'opposant aux levées de soupapes qui pourraient avoir lieu aux faibles charges, par suite de la dépression qui se produit alors dans le cylindre.

Le verrouillage de la soupape de décharge présente une réelle originalité.

Un excentrique, monté sur l'arbre de distribution, commande par la tige *ab* le jeu de leviers roulants *bc* et *df*: la soupape ayant été soulevée retombe sous l'action du ressort *r*. Mais le levier *c* continue alors son action et appuie sur le ressort dont il augmente la tension en le comprimant davantage. Ainsi armé, le ressort devient suffisant pour clouer la valve sur son siège, durant l'aspiration.



Suit alors la phase de compression et d'explosion avec détente; sur la fin de celle-ci, le levier *c* se relève et il rend au ressort sa tension normale, avant d'agir de nouveau sur la tige de la valve pour l'ouvrir. Mais il y a une complication, qui rend plus difficile la solution du problème : lors de la mise en route du moteur, il faut diminuer la compression; cette opération s'effectue par l'intermédiaire du toc *m* et d'un galet *g*, porté par la bielle *fg*, articulée sur l'extrémité de *df*. Une tringle *gh* permet d'amener le galet au-dessus du toc *m*, de manière à ce que *df* soit soulevé vers la fin de la compression; celle-ci est donc réduite. Aussitôt que le moteur a pris sa vitesse, on retire *g* en arrière et cet effet cesse de se produire.

La mise en route est faite, à l'air comprimé, au moyen de soupapes additionnelles commandées par un mécanisme à débrayage : elles sont munies d'un dispositif spécial, permettant de maintenir les soupapes d'échappement ouvertes durant la course de compression, jusqu'à ce que la vitesse requise pour obtenir les premières explosions soit largement atteinte.

Ces machines, installées à la grande Centrale des Aciéries de Longwy, à Mont-Saint-Martin, ont donné d'excellents résultats.

Les établissements Cail, odieusement saccagés par les Allemands, n'ont pas tardé à reprendre la situation qu'ils avaient acquise avant la guerre dans la construction des moteurs à gaz.

### 8. Moteur Augsburg-Nuremberg M. A. N.

La *Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg*, qui construisait avec succès depuis de longues années tous les appareils à vapeur, et s'était fait une spécialité de tout ce qui contribue au développement de la puissance motrice, fut une des premières maisons allemandes qui entreprit l'établissement des grands moteurs à gaz; elle créa une machine qui attira aussitôt l'attention des ingénieurs et lui permit de disputer le premier rang à la Compagnie Otto de Deutz, aux ateliers Koerting et à la Berlin-Anhaltsche M. A. G., autant par la perfection de sa construction que par l'ingéniosité des dispositifs adoptés. Il est extrêmement difficile de faire une description exacte et vraiment actuelle de ses moteurs, qu'elle a progressivement améliorés, en tenant compte des progrès de la théorie la plus avertie et des enseignements d'une longue pratique, dont les indications étaient judicieusement observées.

Pour mettre de l'ordre dans notre étude, nous commencerons par les moteurs à simple effet mono ou polycylindriques, pour en venir ensuite aux puissantes machines à double effet, qui ont le plus contribué à la réputation de la maison bavaroise de construction mécanique.

Les ateliers de Nuremberg entreprirent d'abord de construire le moteur vertical Loutzky, du type à pilon, avec soupapes réunies sur la culasse, la



soupape d'échappement au sommet, dans le prolongement de l'axe du piston, celle d'admission à axe horizontal, débouchant sur le côté; leur commande était effectuée par un arbre vertical de distribution, muni des cames nécessaires. L'allumage était opéré par un tube à incandescence en fer forgé, placé sur la culasse.

Malgré une faible compression à 4 kilogrammes, ce moteur avait un bon rendement et M. Kappeler a relevé, en 1896, par cheval-heure effectif, sur un moteur de 12 chevaux, une consommation d'au plus 466 litres de gaz de ville de Nuremberg. Pour 4 kilogrammes de compression, le diagramme marquait 17 kilogrammes de pression explosive et 4 kg. 6 de pression moyenne (1).

En 1898, en association avec la *Maschinenfabrik-Augsburg*, la Compagnie de Nuremberg adopta un modèle horizontal, dérivé du Buss-Sombart, qui fut remarqué, et trouva de nombreux plagiaires parmi les mécaniciens d'outre-Rhin.

Cette machine présente un grand caractère de puissance et de robustesse, avec son fort bâti, aux larges assises, supportant le cylindre sur presque toute sa longueur; le piston, guidé avec soin dans le prolongement antérieur du cylindre, procure une étanchéité que tous les moteurs ne réalisent pas au même degré; la culasse, portant toutes les soupapes, est solidement boulonnée contre les brides de fond du cylindre; l'arbre de distribution, disposé au pied du cylindre, parallèlement à son axe, attaque par cames et leviers toutes les soupapes, par-dessus et par-dessous. Elle est pourvue d'une large enveloppe à circulation d'eau, qui empêche toute élévation de température pouvant nuire au fonctionnement ou à la conservation des organes de distribution.

Les soupapes d'admission du mélange et de décharge sont déjà disposées l'une au-dessus de l'autre, leurs axes étant en prolongement sur l'extrémité de la culasse; la soupape du gaz est, au contraire, à tige horizontale, et disposée sur le côté. Il y a, de plus, sur le bout de la culasse, une soupape à axe horizontal de mise en train (*anlassventil*). Le réglage se fait par admission constante d'un mélange de richesse variable, le régulateur agissant seulement sur la soupape de gaz par une came conique.

L'allumage est électrique par magnéto à ressort.

Un moteur de 200 chevaux, faisant 160 révolutions par minute, mesure 540 millimètres de diamètre de cylindre et 0 m. 700 de course de piston.

Pour l'emploi des gaz pauvres et de hauts fourneaux, on a établi un moteur monocylindrique, de 1.320 millimètres de diamètre et 1 m. 400 de course, développant par 90 révolutions à la minute, une puissance de 700 chevaux effectifs, dans lequel se retrouvent les organes décrits ci-dessus, mais avec les modifications suivantes. Sur le haut de la culasse, sont disposées deux soupapes de

1. GÜLDNER, *Das Entwerfen und Berechnen der Verbrennungs Motoren*. Berlin, 1903. On ne dit pas le pouvoir du gaz de Nuremberg et nous ne pouvons combler cette lacune, qui enlève une partie de sa valeur à la constatation que l'on a faite.



mélange (*einlassventile*) et une soupape à gaz (*gasventil*), à axe vertical; en dessous, deux soupapes d'échappement; toutes ces soupapes ont leurs tiges verticales. Elles sont commandées par des leviers obliques, à la façon des machines à vapeur Sulzer, avec lesquelles ces moteurs présentent de nombreuses et grandes ressemblances. La crosse du piston est guidée dans une longue glissière : ce piston est refroidi par circulation d'eau.

Un autre type fut construit, avec deux cylindres en tandem, de 900 millimètres de diamètre, 1 m. 060 de course, faisant 125 tours à la minute; les deux cylindres sont réunis par deux forts longerons du bâti. L'arbre de distribution portait un volant, dont l'inertie permit aux cames d'agir avec plus de régularité, sans fatiguer les engrenages de transmission de mouvement.

La très haute compression de 14 à 15 kilogrammes, pratiquée dans ces moteurs, marquait une initiative intelligente et hardie, qui leur assurait une consommation réduite; elle leur valut de nombreux clients, car les dispositions nécessaires étaient prises pour éviter les inconvénients de cette manière de

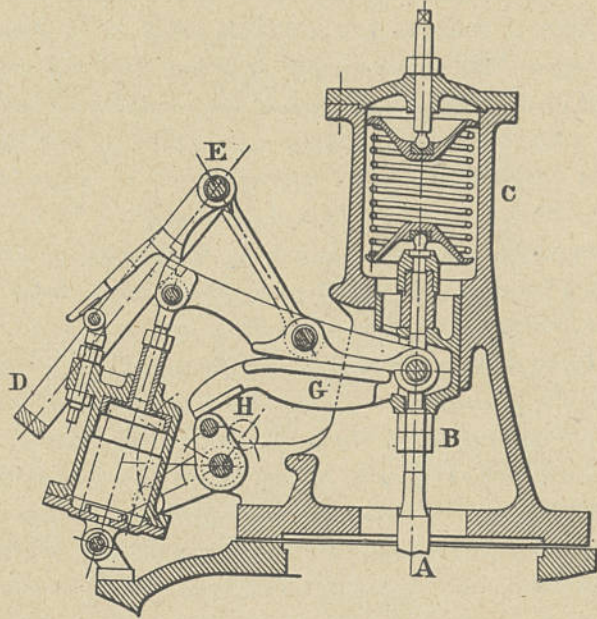


Fig. 189. — Distribution à décliné M. A. N.

faire ou du moins pour les atténuer, dans la mesure du possible. Au gaz de ville, on ne dépassait guère 10 kilogrammes, ce qui donnait une pression explosive de 32 kilogrammes et une pression moyenne de 7 kg. 25, qui était et est sans doute encore un record.

S'inspirant de plus en plus des pratiques qui avaient contribué au succès des machines à vapeur, et adaptant aux moteurs les admissions à décliné, qui ont permis d'effectuer une admission variable, avec intervention du régulateur, la Compagnie de Nuremberg établit de puissants moteurs à gaz pauvres et de hauts fourneaux. Plaçant au-dessus du cylindre les soupapes d'admission du gaz et d'admission du mélange, elle donna la préférence au réglage quantitatif, qu'elle réalisait par le dispositif de la figure 189.

La hauteur de la levée de la soupape sur son siège est modifiée en même temps que la durée de cette levée est plus ou moins abrégée, par le décliné d'une palette. Le premier effet est obtenu par la variation du point d'appui du levier qui soulève la soupape; le bras commandé se raccourcissant, le dépla-



gement de l'extrémité de l'autre bras devient plus grand, pour une même oscillation du levier. Ce point d'appui est pris par la pièce d'attaque sur le secteur courbe G, qui est plus ou moins relevé par le régulateur par l'intermédiaire du coude H. Le second effet est procuré par le déclic de la palette à laquelle le galet fait perdre le contact d'un butoir. Le piston à huile donne à cet appareil l'élasticité dont il a besoin. C'est par la double tringle DE qu'on transmet le mouvement; ce mouvement est produit par un excentrique calé sur l'arbre de distribution.

Le premier moteur de grande puissance de Nuremberg fut construit en 1899; il était encore à simple effet, avec deux cylindres en tandem; il développait 500 chevaux par cylindre, avec un rendement organique de 72 % (1); ce pourcentage était trop faible, mais on ne tarda pas à l'améliorer quelque peu.

En 1901, on installait un moteur de 700 chevaux à un cylindre aux forges de Carlshütte, de M. Röchling, et un autre de 800 chevaux, à la Compagnie du Phénix, à Laar, près de Ruhrort; et enfin deux moteurs de 1.200 chevaux, bicylindriques, aux usines de Rombach, en Alsace-Lorraine, en 1902. Le plus fort alésage des cylindres à simple effet sortis des ateliers de Nuremberg a été de 1.320 millimètres; la course mesurait 1 m. 400 et la vitesse de régime était réglée à 90 révolutions par minute. Ces cylindres étaient munis de deux soupapes d'admission et de deux soupapes d'échappement, commandées simultanément deux à deux. Le bâti était constitué par deux longerons latéraux, réunis par un tirant, et possédant une très large assiette. Une circulation d'eau réfrigérait les boîtes à soupapes, les soupapes d'échappement et les pistons eux-mêmes, auxquels l'eau arrivait par la tige et les connexions élastiques flexibles. Cet ensemble était bien étudié et bien compris, mais la masse de ces machines était énorme et leur encombrement très grand; leur rendement organique restait médiocre et l'on reconnut bientôt qu'il fallait y renoncer : dès 1902, les grands moteurs ont été construits à double effet.

Aujourd'hui, le simple effet est limité à une puissance de 135 chevaux par cylindre au maximum : la Société de Nuremberg, qui en a établi un excellent modèle, bien conçu et bien dessiné, continue d'en construire et d'en installer un grand nombre.

Ces moteurs à simple effet, sont d'un type très pratique; la figure 190 représente le dernier modèle bicylindrique, en élévation postérieure; elle permet de se rendre compte des principaux détails de la construction. Un excentrique unique commande l'admission et l'échappement, par un ensemble de tiges et de leviers, dont le dessin fait ressortir la disposition relative : le mouvement est transmis d'un cylindre à l'autre par des tringles horizontales. Le régulateur opère le réglage, en agissant sur la levée variable de la soupape d'admission : cet effet est obtenu par le déplacement d'un galet, placé entre le levier prin-

1. RIEDLER, *Gross-Gasmashinen*, Berlin, 1905. Cette étude est consacrée en grande partie aux moteurs de Nuremberg, à l'établissement desquels l'auteur avait contribué.



cipal d'attaque et un levier secondaire, reposant sur la tige de la soupape. La teneur du mélange est variable, l'admission n'est elle-même pas constante. La soupape d'admission ne sert qu'à fermer le cylindre, à la fin de l'aspiration, pendant les temps de compression, détente et échappement; la teneur du mélange est réglée par une soupape à double siège (pour l'air et pour le gaz), montée sur le même axe que la soupape d'admission et participant à son mouvement

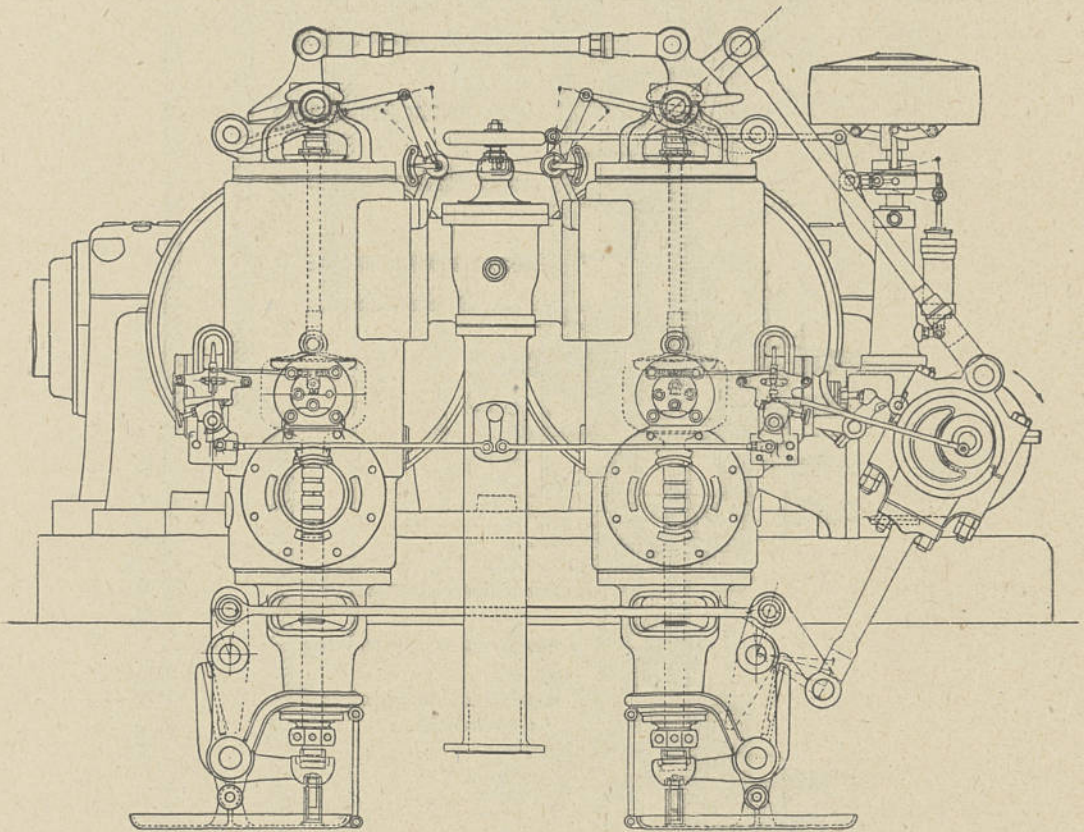


Fig. 190. — Vue postérieure du moteur M. A. N. à simple effet.

de levée. Cette soupape de mélange est équilibrée et très légère, attendu qu'elle ne subit pas la pression explosive. La magnéto d'allumage, visible sur le dessin, est à avance réglable à volonté en marche. Pour les cylindres d'une puissance de 125 chevaux et au delà, le tourillon du pied de bielle est porté par une crosse et un coulisseau, qui se déplacent dans une glissière fondue avec le bâti : ce dispositif éloigne le tourillon du cylindre et le soustrait à un échauffement excessif et nuisible.

Mais la réputation des ateliers de Nuremberg est surtout établie par leurs moteurs à double effet qui se sont répandus suivant une progression croissante, dont la raison constitue la meilleure référence. Les chiffres suivants sont empruntés à une brochure publiée par les constructeurs.



De 1903 à 1907, on a construit et livré 240 moteurs à double effet d'une

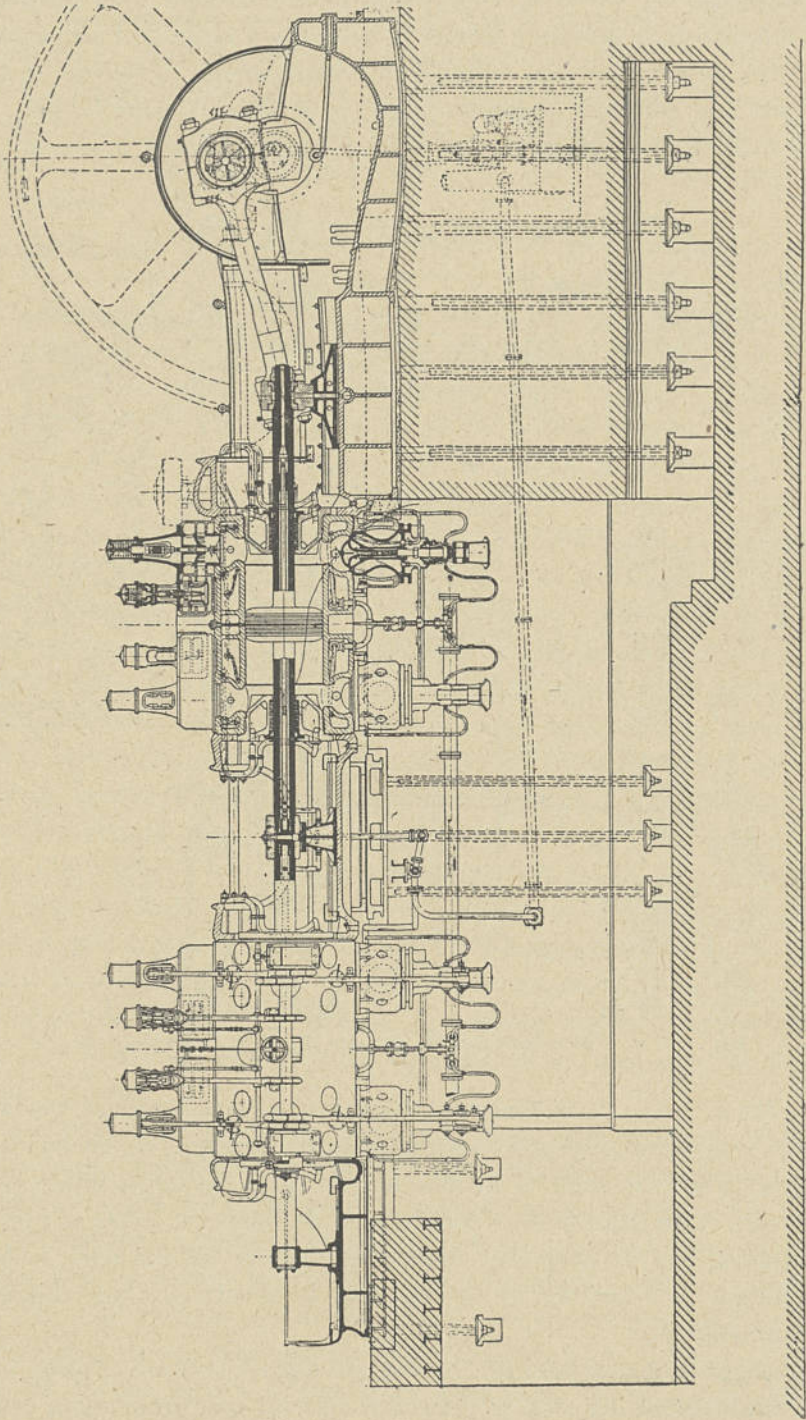


Fig. 191. — Moteur M. A. N. à double effet.

puissance totale de 300.000 chevaux, et les quatre années suivantes ce nombre a augmenté d'un quart.



Les moteurs à double effet de Nuremberg présentent la disposition géné-

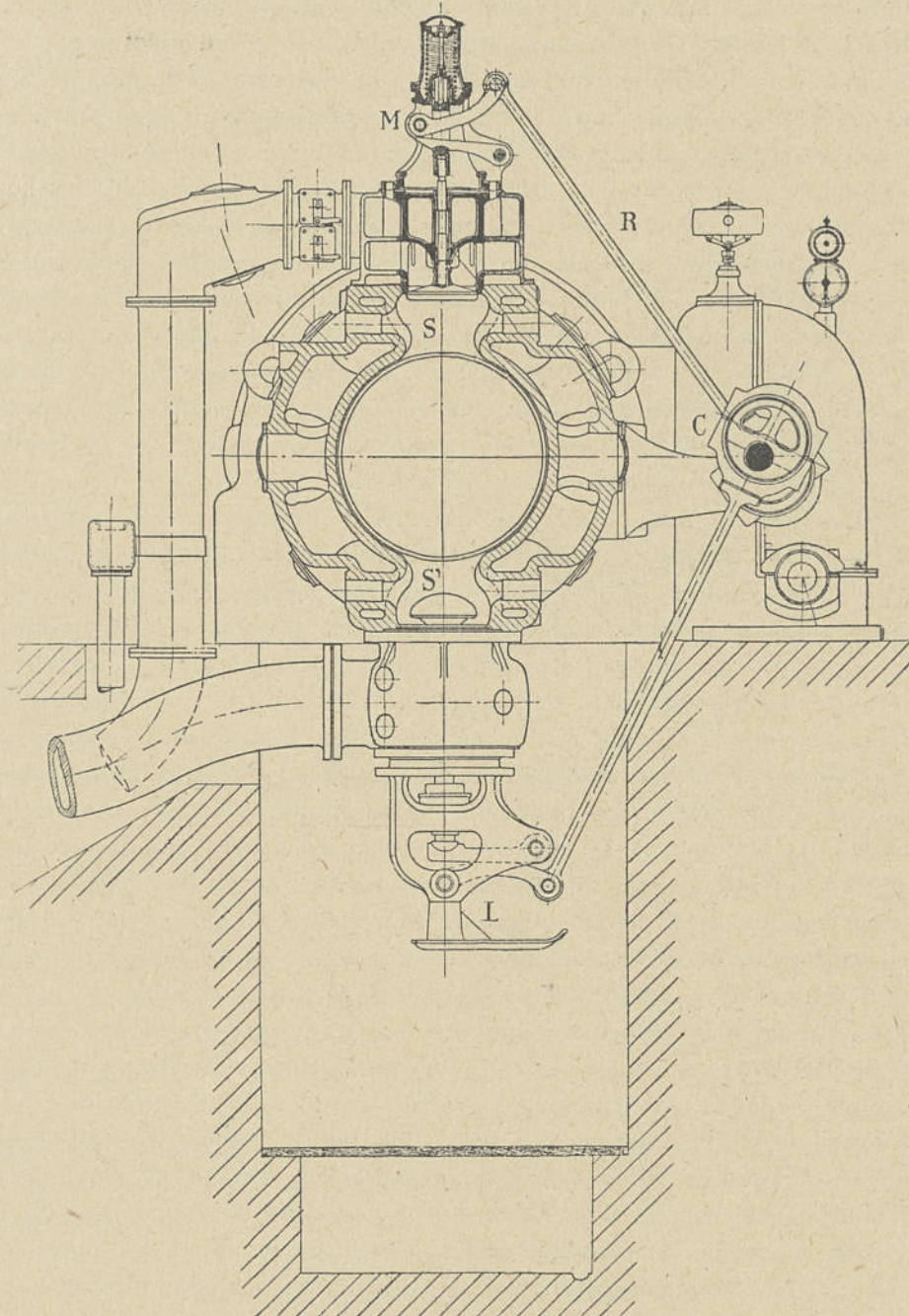


Fig. 192. — Coupe du moteur M. A. N.

rale de la figure 191; la figure 192 en donne une coupe par le cylindre.

Les bâtis de ces machines sont coulés d'une pièce, qui présente un aspect de grande robustesse; un évidement latéral, pratiqué sur le milieu pour faci-



lité l'accès de la glissière et de la crosse, est renforcé par de forts tirants longitudinaux en acier : un bâti de 1.200 chevaux pèse environ 27 tonnes. Les cylindres sont boulonnés sur une solide collerette, de grand diamètre.

Ces cylindres ont fait l'objet d'une étude toute spéciale de la part des ingénieurs qui les ont dessinés; on a évité toute surépaisseur de fonte, et l'on a donné aux enveloppes une grande capacité. Les enveloppes sont munies de trous d'homme permettant leur nettoyage intérieur et l'enlèvement des boues et incrustations; les fondeurs en tirent parti pour mieux assujettir les noyaux. Les fonds, indépendants du bâti et de l'entretoise des tandems, peuvent être démontés rapidement. Les boîtes à soupapes, venues de fonte avec le cylindre, occupent des positions telles qu'il n'est pas nécessaire de les démonter pour visiter les cylindres et examiner les pistons. Les sièges des soupapes d'échappement sont parfaitement refroidis par une active circulation d'eau, qui a permis de supprimer la réfrigération interne des soupapes elles-mêmes. On peut retirer ces soupapes sans avoir à démonter la tuyauterie.

Les constructeurs font grand état, dans leurs prospectus, des facilités que présentent leurs machines tandem pour la visite et le nettoyage des boîtes à soupape et des cylindres, et ils font voir par trois figures, dont les clichés ont été communiqués à plusieurs auteurs, comment on procède à cette opération. Pour les soupapes, on amène les pistons à fond de course avant ou arrière, et l'on fait glisser les couvercles des cylindres sur la tige; pour accéder aux cylindres, on coupe la tige des pistons en son milieu, à la crosse de jonction.

Les pistons sont en fonte : un courant d'eau, amené par les tiges, les empêche de s'échauffer. Leur largeur est réduite au minimum, pour ne pas allonger inutilement le cylindre : ils ne portent que 4 ou 5 cercles. Dans une machine tandem, le poids des pistons et des tiges est réparti sur trois glissières, et les tiges sont cintrées, après leur usinage, en sens inverse de la flexion. La crosse motrice est en acier au nickel; son emmanchement avec la tige du piston permet de la laisser dans la glissière, lorsqu'on visite le piston. Les presse-étoupe des fonds de cylindre sont munis de segments élastiques en fonte et de cercles en métal antifriction, serrés contre la tige par des ressorts à boudin, qui ne sont pas exposés à rougir, étant donnée leur distance du fond de cylindre.

La distribution est effectuée par deux soupapes, à axe vertical, placées sur le cylindre, l'une à côté de l'autre. La première admet le mélange formé et elle ferme le cylindre à la fin de l'admission; sa levée est constante; l'autre, dite soupape de mélange, à double siège pour le gaz et pour l'air, opère dans les meilleures conditions le mélange et la diffusion du gaz combustible dans le comburant.

La figure 193 fait voir le mécanisme qui l'actionne, son dashpot et ses ressorts. La tige de la soupape, parfaitement guidée, est soulevée par le levier LA, malgré les ressorts supérieurs, qui tendent à la ramener vers le bas : le levier LA agit ainsi en tirant. Le balancier, pivoté en A, roule sur le bras BE,



dont la position est déterminée par la tringle MB, qui est actionnée par le régulateur. Dans ce mouvement de roulement, un doigt soulève un toc placé au-dessus de lui; mais bientôt le doigt se dérobe et laisse retomber la soupape. Cette fermeture se fait toujours au même instant du mouvement du balancier pivoté en A; mais le moment de l'ouverture et la hauteur de la levée ont varié avec l'horizontalité plus ou moins grande du bras BE. On voit, en somme, que le gaz est ainsi admis plus ou moins tard, vers la fin de la course du piston; mais l'air, qui passe autour du corps de la soupape, pénètre librement dans le cylindre durant toute la course. La composition du mélange varie donc, sous la dépendance du régulateur, et il se forme un matelas d'air derrière le piston; celui-ci progresse avec lui, alors qu'un mélange plus riche, formé sur la fin de l'admission, assure un allumage très sûr. L'hypothèse était contestable, le fait est démontré.

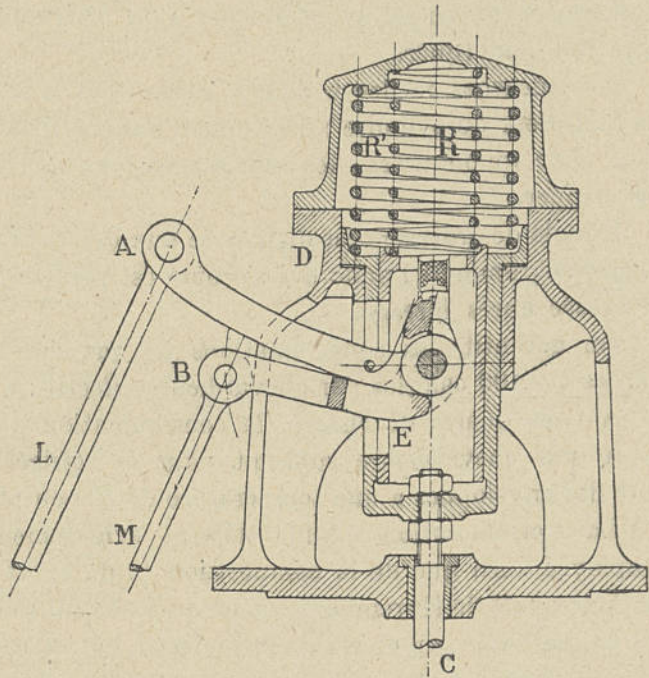


Fig. 193. — Admission M. A. N.

Tous ces mouvements s'opèrent sans chocs, à condition que le balancier, pivoté en A, ne perde jamais le contact du bras BE.

Ce dispositif de réglage a subi de nombreuses modifications au cours des années. Le principe a été conservé de faire une admission sous volume constant d'un mélange de teneur variable, en confinant un mélange plus riche pris du logement de la bougie d'allumage, alors qu'au contraire une tranche d'air est formée contre le piston. La soupape du gaz et celle d'admission sont montées l'une à côté de l'autre; le mélange s'effectue dans le canal qui aboutit à la soupape d'admission. Le mécanisme généralement adopté ne diffère guère du précédent. L'excentrique de l'arbre latéral à demi-vitesse donne un mouvement oscillant à un long levier oblique, articulé sur la tige verticale de la soupape, mais qui ne l'entraîne que par l'intermédiaire d'un déclat presque vertical, dont la position est déterminée par le régulateur. On peut imaginer bien des dispositions variées conçues d'après ce schéma.

Les moteurs de Nuremberg ont pour caractéristique spéciale le parfait



guidage des tiges et des crosses de piston, qui font reposer cette masse considérable sur de larges surfaces, faciles à lubrifier et à entretenir, évitent l'ovalisation des cylindres et réduisent au minimum la dépense d'huile. Les presse-étoupes sont eux-mêmes déchargés dans la mesure du possible et ils n'ont qu'à remplir leur office, qui est de former un joint étanche. Les couvercles du cylindre d'avant et d'arrière sont identiques; on peut les détacher et les déplacer avec une grande facilité pour procéder aux nettoyages intérieurs; cette opération s'effectue sans qu'on ait à toucher à la distribution, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer.

Des lucarnes faciles à ouvrir permettent d'ailleurs un examen sommaire de l'intérieur du cylindre : des trous d'homme sont ménagés sur les chambres à eau, pour qu'on puisse les débarrasser des incrustations qui pourraient s'y développer.

L'huile de graissage est distribuée aux divers organes sous une pression d'un demi-kilogramme : l'huile qui s'écoule est recueillie avec soin et elle peut être réutilisée après filtrage.

On garantit des consommations de gaz des hauts fourneaux correspondantes à 2.100 calories par cheval-heure effectif : c'est un rendement de 30 %.

A trois quarts de charge, la consommation augmente de 10 %. 50 litres d'eau par cheval-heure suffisent pour la réfrigération. L'eau de circulation sort des enveloppes à une température de 35° au plus.

La consommation d'huile dépend évidemment de la qualité de l'huile employée ainsi que de la composition et de l'état de propreté des gaz : mais la Compagnie de Nuremberg estime qu'il ne faut guère en général qu'un gramme de bonne huile par cheval-heure effectif, et cette dépense a même pu tomber à 0 gr. 6 dans certains cas.

Voici les dimensions de quelques machines à double effet en tandem construites pour gaz de hauts fourneaux par les ateliers de Nuremberg.

| PUISSANCE<br>EN CHEVAUX<br>effectifs | DIAMÈTRE<br>des<br>CYLINDRES | COURSE<br>des<br>PISTONS | NOMBRE<br>DE TOURS<br>par minute | DIAMÈTRE DES TUYAUX |             |             |
|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------|-------------|
|                                      |                              |                          |                                  | DE GAZ              | D'AIR       | DE DÉCHARGE |
|                                      |                              |                          |                                  | millimètres         | millimètres |             |
| 350                                  | 510                          | 0,650                    | 150                              | 150                 | 225         |             |
| 400                                  | 570                          | 0,700                    | 125                              | 150                 | 250         |             |
| 530                                  | 630                          | 0,750                    | 125                              | 175                 | 275         |             |
| 685                                  | 690                          | 0,800                    | 125                              | 200                 | 325         |             |
| 870                                  | 750                          | 0,900                    | 120                              | 225                 | 350         |             |
| 1.050                                | 810                          | 1,000                    | 110                              | 250                 | 375         |             |
| 1.200                                | 870                          | 1,100                    | 100                              | 275                 | 400         |             |
| 1.500                                | 950                          | 1,200                    | 94                               | 300                 | 450         |             |
| 1.840                                | 1.030                        | 1,300                    | 90                               | 325                 | 500         |             |

La Société M. A. N. a réussi à augmenter la puissance de ses machines en pratiquant un balayage des produits de la combustion combiné avec un remplis-



sage sous pression. L'air comprimé est emprunté aux services de l'établissement métallurgique, ou bien on recourt à une turbo-soufflante alimentée de vapeur par une chaudière, chauffée par les gaz de l'échappement. L'air est délivré sous une tension de 2 mètres d'eau, et il est amené au cylindre par une conduite supplémentaire.

Le fonctionnement de la distribution est modifié de la manière qui suit. L'air sous pression est admis alors que la valve d'échappement est encore ouverte, et il contribue à l'expulsion des produits de la combustion, en opérant un ringage énergique du cylindre. Aussitôt après que le point mort est franchi et la décharge fermée, l'afflux d'air est interrompu et la soupape de mélange s'ouvre et reste ouverte durant une fraction de la course d'aspiration; mais elle retombe bientôt et l'on admet de nouveau de l'air comprimé, pour mettre la charge sous pression. Il s'effectue donc un remplissage sous pression.

La complication d'organes que nécessite ce procédé est rachetée par une augmentation de puissance et une amélioration du rendement, qui est très appréciable, surtout à trois quarts de charge.

MM. Garnier et Faure-Beaulieu, de Paris (aujourd'hui Société générale de constructions mécaniques), avaient obtenu une licence de construction

des moteurs de Nuremberg pour la France. Les diagrammes de la figure 194 ont été relevés par moi, à Tours, sur un moteur de cette maison, à deux cylindres double effet en tandem, de 500 chevaux; il a consommé à pleine charge 400 grammes de charbon de Messeix par cheval-heure effectif, ayant produit 2.235 litres de gaz à 1.266 calories.

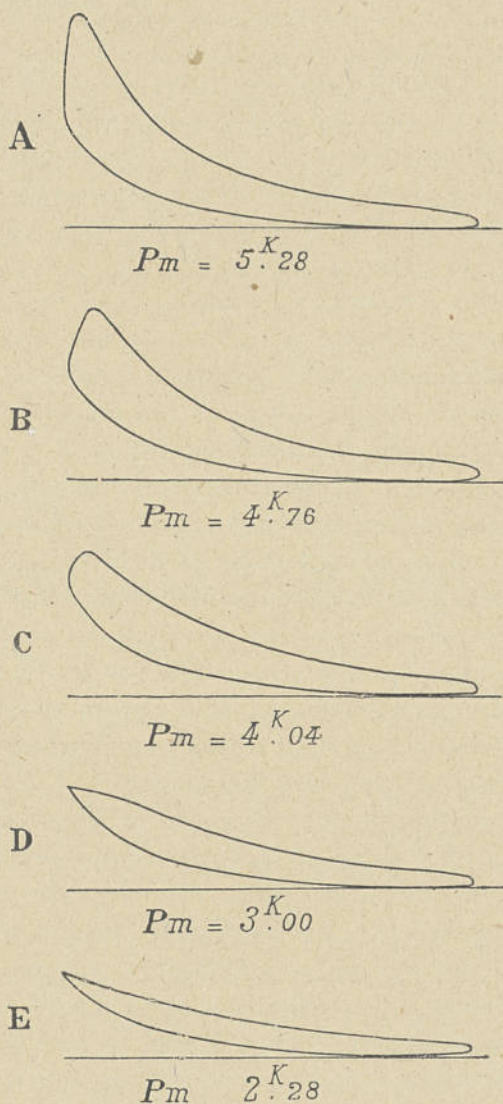


Fig. 194.  
Diagrammes Garnier et Faure-Beaulieu.



### 9. Moteur Letombe.

Letombe, qui fut ingénieur à Lille, avant d'aller occuper une chaire à l'École Centrale de Paris, m'a fait l'honneur de se dire mon élève, et il ne pouvait m'adresser de compliment auquel je fusse plus sensible. Les moteurs à gaz et les gazogènes étaient devenus les objets préférés de ses études, dès l'année 1888, et il les a poursuivies jusqu'à sa mort prématurée, survenue au cours de la guerre.

A l'exemple de Charon, il se donna pour premier objectif de réaliser une longue détente, et il inventa une machine caractérisée par l'existence d'une *antichambre*, dans laquelle il formait le mélange tonnant, distribué au cylindre par un double tiroir, car son moteur était alors déjà à double effet.

L'ingénieur inventeur fut bientôt amené à perfectionner son œuvre, et il créa une machine réellement originale, conçue et dessinée dans des vues très rationnelles, avec une ingéniosité à laquelle tous ont rendu hommage.

Nous avons déjà dit que le moteur Letombe était à *surcompression*. Rappelons la genèse de l'idée. Le défaut de l'invention de Charon était d'acheter la prolongation de la détente au prix d'une diminution de la compression : on risque ainsi de perdre quelquefois par le second effet ce que le premier a fait gagner. En réalité, cette manière de procéder est tout de même encore très avantageuse, puisque le moteur Charon est longtemps resté un des moteurs les plus économiques : toutefois Letombe voulut mieux faire et il y réussit. Abandonnant entièrement le remisage du mélange dans une antichambre, comme il le pratiquait d'abord, il fit varier la charge de gaz admise par cylindrée, dans le but de réaliser une détente variable aussi complète que possible dans les conditions normales du fonctionnement du moteur. Or, il pourrait arriver que, pour certaines charges plus faibles, la richesse du mélange ne fût plus suffisante pour donner une combustion assez rapide et assez complète, et le rendement thermique pourrait alors baisser de ce chef : on conjure ce fâcheux résultat en pratiquant une surcompression, qui améliore les conditions de la combustion en même temps qu'elle relève le rendement. En somme, au lieu de diminuer la compression quand la charge vient à être réduite, on augmentait au contraire cette compression à ce moment, pour assurer une bonne combustion et pour maintenir la valeur du rendement.

Ce résultat était obtenu par une combinaison de trois soupapes; les deux premières fonctionnaient à peu près comme les tiroirs doubles des détentes Meyer, Thomas et Farcot; l'une d'elles commençait l'admission, l'autre la terminait, sous l'action du régulateur.

La charge de gaz diminue donc progressivement dans cette machine au fur et à mesure que le travail résistant diminue et que le moteur tend à prendre



de la vitesse, et cette réduction graduelle va même jusqu'à la suppression complète du gaz combustible. Ces conditions seraient médiocres, car elles pourraient donner des ratés, si la surcompression n'augmentait alors le volume des admissions de mélange en raison inverse de la diminution de richesse de ce mélange; l'allumage reste donc possible et l'on prétend qu'il ne se produit pas de combustion manquée. Les diagrammes successifs relevés sur un moteur prennent la disposition relative de la figure 195; on voit que le diagramme va s'usant par le haut et surtout par le bas; les lignes de détente et de compression 1, 2, 3 et 4 se correspondent dans cette figure.

Résumons ce qui précède en disant que, dans ce moteur Letombe, la charge de gaz diminuait, sous la dépendance du régulateur, lorsque le travail résistant diminuait; mais le volume de mélange admis augmentait en raison inverse de l'appauvrissement du mélange et la compression croissait en même temps.

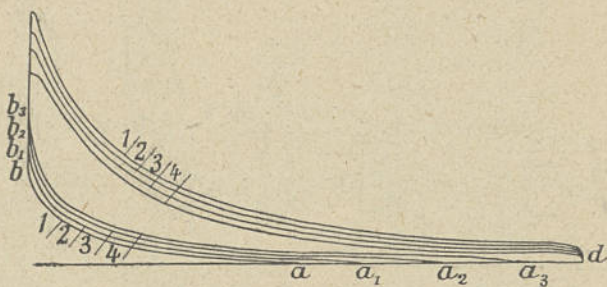


Fig. 195. — Diagrammes Letombe.

Cette distribution originale n'est plus qu'un souvenir, mais il mérite d'être conservé, ne fût-ce que pour son ingéniosité, peut-être excessive.

Letombe fut bientôt amené à simplifier sa distribution, et il recourut à l'emploi d'une soupape à gaz, d'un obturateur tournant pour la prise d'air et d'une soupape de mélange; puis il fit du réglage quantitatif par un procédé que nous décrirons plus loin.

Pour diminuer la longueur de ses moteurs en tandem, il imagina ce qu'il appelait le *triple effet*, dans lequel il remplaçait la glissière des anciens moteurs par un cylindre et un piston à simple effet, placé en avant du cylindre à double effet. On obtient ainsi trois impulsions motrices sur quatre courses du piston, au grand bénéfice de la régularité de la marche. Comme ces trois effets sont indépendants, on peut les supprimer à volonté, et le même moteur fournit successivement et suivant le besoin, une, deux ou trois impulsions par tour.

Il en résulte une certaine facilité pour l'emploi des gaz chargés de poussière et notamment pour les gaz de hauts fourneaux. On peut, en pleine charge, supprimer un effet, et nettoyer ou changer tous les organes qui les desservent. Il n'y a qu'une soupape à gaz à enlever et un levier à manœuvrer pour provoquer une aspiration et un refoulement d'air très énergique, qui balaie hors du cylindre toutes les impuretés qui auraient pu s'y accumuler; l'opération s'effectuera en quelques minutes.

Le dispositif triplex présentait des avantages sérieux, mais la disposition



encombrée des organes de distribution donnait à l'ensemble un aspect compliqué, que d'aucuns trouvaient déplaisant.

Ce moteur Letombe a été construit exclusivement pendant plusieurs années par la Compagnie de Fives-Lille, pour le compte d'une puissante Société d'exploitation des brevets, constituée au capital primitif de 300.000 francs, qu'il a fallu porter plus tard à 1.400.000 francs. Largement exposé à Paris, en 1900, sous le couvert de son constructeur, le moteur Letombe a été un des plus largement récompensés. A Vincennes, on voyait fonctionner une machine de 250 chevaux alimentée de gaz pauvre, fourni par un gazogène Letombe. Sa

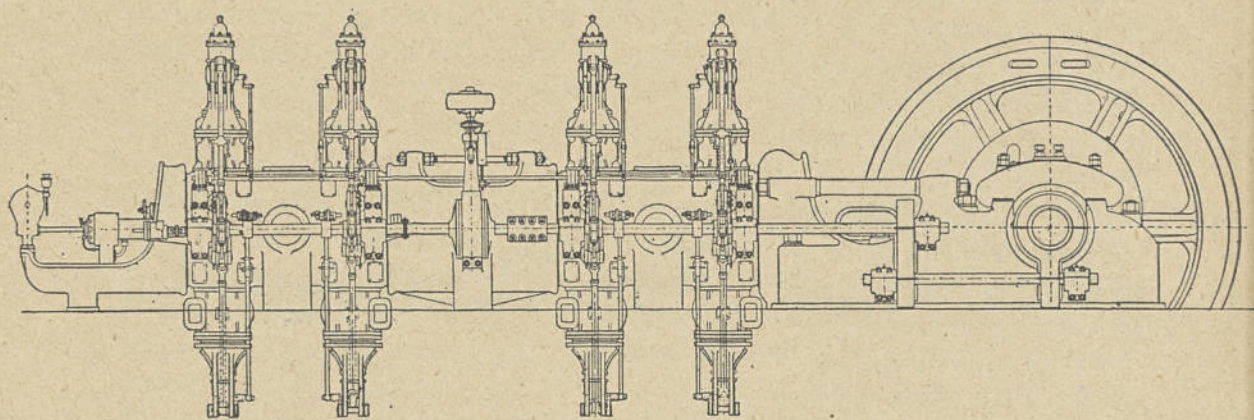


Fig. 196. — Moteur Letombe à double effet.

marche a été assez régulière pour actionner dans les meilleures conditions une dynamo de la Société Alsacienne.

La Société des moteurs Letombe aborda rapidement la construction des puissants moteurs, et elle installa des unités de 1.200 chevaux.

Le dernier modèle auquel le fécond inventeur s'arrêta est représenté sur les figures 196 et 197; il se compose de deux cylindres, disposés en tandem, reliés entre eux par une entretoise; le bâti, de forme allongée, est très bas; il porte à l'arrière une couronne, sur laquelle est fixé le premier cylindre; pour empêcher toute flexion, cette couronne est consolidée par de forts boulons d'acier, serrant sur des entretoises cylindriques.

Les cylindres sont fondus d'une pièce avec leurs enveloppes, qui sont très larges; les portées sont absolument symétriques; le cylindre intérieur est entretoisé avec l'enveloppe par des anneaux de fonte qui forment frein sur le pourtour. Les deux cylindres reposent sur un bâti portant une glissière plate à l'avant et à l'arrière.

Les boîtes de distribution sont disposées sur une même verticale, au-dessus et au-dessous des cylindres; elles sont faites en plusieurs pièces. La boîte d'admission est venue de fonte avec la boîte de mélange et elles sont montées sur un axe commun; le siège de la soupape d'admission est rapporté à l'intérieur et



maintenu en place par un couvercle boulonné. La soupape d'échappement est renfermée dans un logement, avec siège amovible, refroidi par une circulation d'eau.

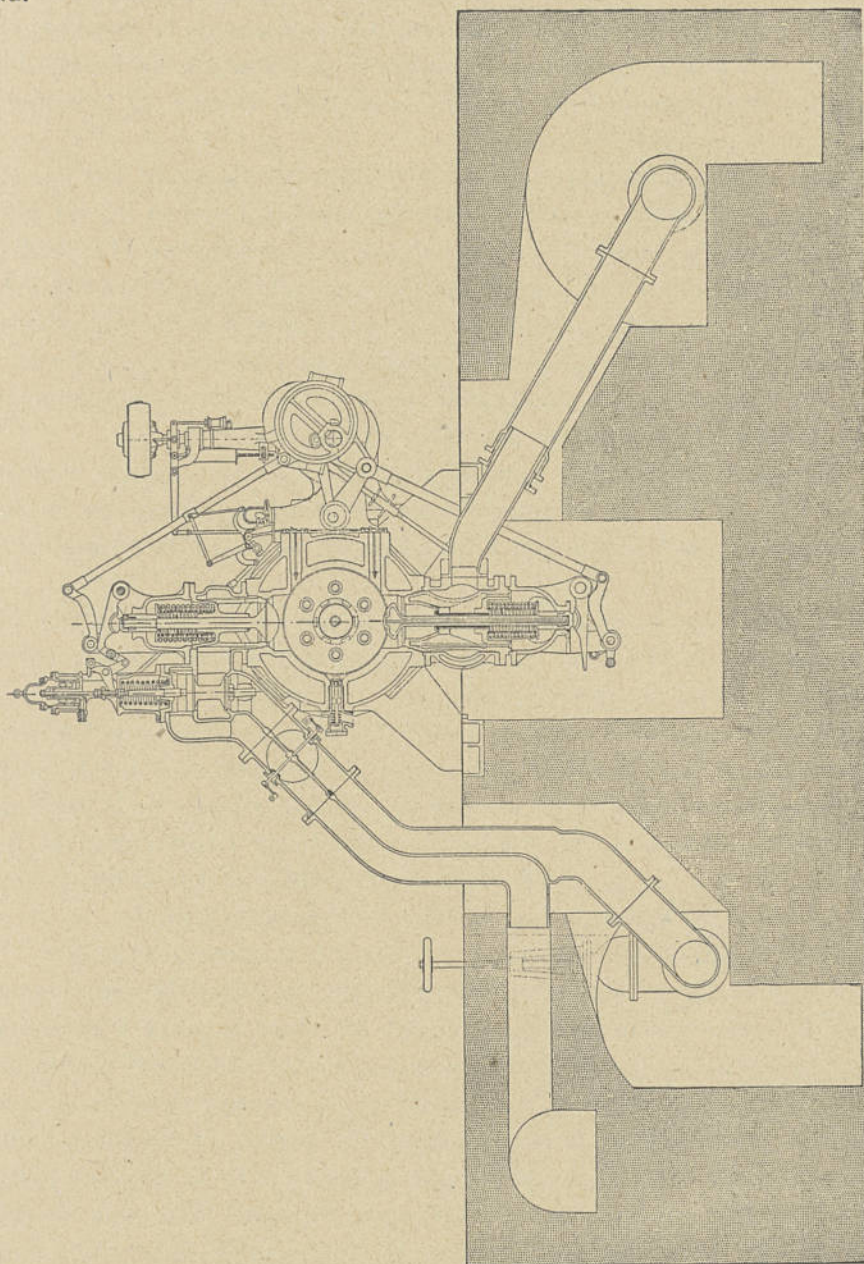


Fig. 197. — Coupe du moteur Letombe.

La distribution se fait pour chaque extrémité du cylindre, par un seul excentrique, qui actionne d'abord un levier principal dirigé vers le bas de la machine, et duquel part une bielle, qui attaque directement les leviers roulants de commande de la soupape d'échappement. Une seconde bielle part d'un point



convenablement choisi sur le collier d'excentrique et elle va actionner, à la partie supérieure de la machine, les leviers roulants de commande de la soupape d'admission. Les leviers roulants de l'admission et de la décharge sont constitués par un levier droit, qui agit directement sur la tige de la soupape, et sur lequel appuie un levier actionné par les bielles de distribution. Ce dernier levier, bien qu'animé d'un mouvement continu, n'entraîne la tige de soupape que d'une façon intermittente.

L'épure de la distribution Letombe est donnée par la figure 198 (1).

L'arbre de distribution, à demi-vitesse, est représenté en O : il est placé à la hauteur de l'axe du cylindre moteur; on voit en *a*, le centre de l'excentrique, qui décrit la circonférence *Oa*. L'angle *cad* est invariable, les points *c* et *d* étant pris sur le collier même de l'excentrique. Le point *d*, relié au levier *ed*, est astreint à suivre l'arc de cercle 2-4. Le point *c* décrit dans l'espace la courbe en œuf 5-7-11-12. Du point *d* part la commande du levier roulant d'échappement, et du point *c* la commande du levier roulant d'admission.

L'arc utile de l'excentrique, pour la manœuvre de la soupape d'échappement, est 1-2-3, chiffres qu'on retrouve sur le levier intermédiaire *de* et sur le levier roulant *hg*. De 1 en 2 a lieu l'ouverture, et de 2 en 3 la fermeture de la soupape.

On remarquera, par la position des points 5 qui correspondent à une phase du mouvement de distribution, que la soupape, après être restée longtemps ouverte, se ferme en un temps très court.

L'avance à l'échappement est d'environ 60° et le retard à la fermeture de 20°.

Au montage, on peut modifier ces angles en agissant, soit sur la position du point *e* monté sur excentrique, soit sur la longueur réglage de la bielle *dg*.

L'arc utile de l'excentrique, pour la commande de l'admission, est 5-6-7, points qu'on retrouve sur la courbe en œuf du point *c* et sur le levier roulant supérieur. L'ouverture a lieu de 5 en 6 et la fermeture de 6 en 7.

L'avance à l'admission est de 10° et le retard à la fermeture de 30°.

Pour la commande de la soupape de mélange, on utilise le mouvement de l'extrémité du levier d'admission proprement dit, dont le point *k* parcourt les angles 16-19-16 pendant que le point du levier roulant décrit les angles 5-6-7.

Afin d'obtenir une ouverture très rapide de la soupape de mélange, suivie d'un repos en attendant le fonctionnement du déclic, on n'utilise, pour la commande du levier de cette soupape, que la fraction 16-17 de l'arc 16-19. A cet effet, la direction du levier *ml* est, au repos, perpendiculaire à la bissectrice de l'angle 17-*j*-19. De cette façon, lorsque la courte bielle *kl* se place dans le prolongement du levier *kj*, pendant le parcours 17-19, l'extrémité *l* du levier *ml* reste très sensiblement immobile sur les points presque confondus 17.

Le levier de déclic *mo*, qui entraîne le levier *mr* de la soupape de mélange,

1. *Revue industrielle*, 30 mai 1908.



ne peut évidemment basculer que par l'action extérieure d'un organe sur la queue *o*. Cette action est obtenue par le mouvement alternatif d'un levier *pq*

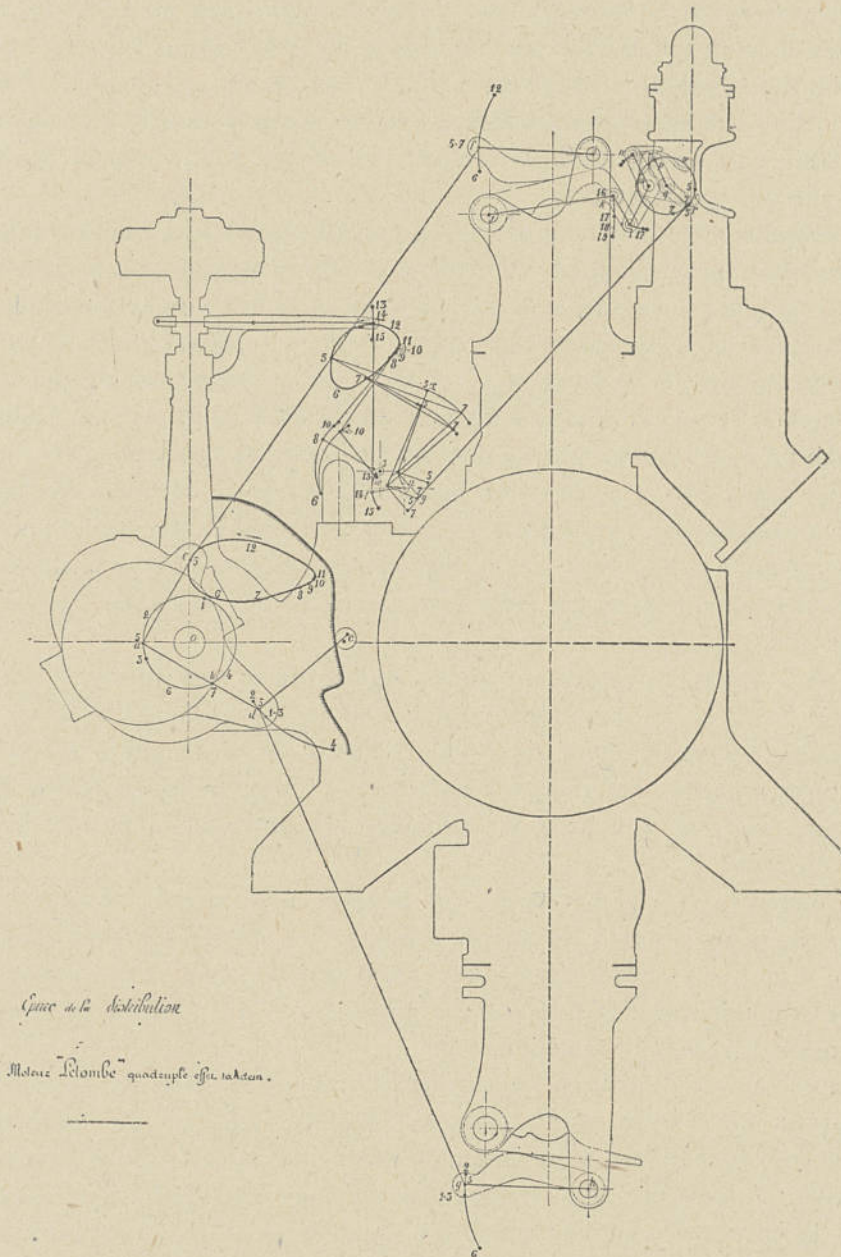


Fig. 198. — Épure de distribution Letombe.

portant à son extrémité un galet *p* destiné à agir sur la queue *o*. Cette queue, dans sa position utile, affecte la forme d'un arc de cercle concentrique au point *m* de façon que, dans le mouvement relatif des pièces, cette queue puisse être considérée comme immobile par rapport à son centre de courbure. Le levier *pq*



décrit un angle d'amplitude constante, mais d'orientation variable. Les positions extrêmes de la commande correspondent aux arcs de longueur 5-7 portés sur la circonférence de ce rayon  $pq$ . Il est clair que plus l'arc 5-7 s'abaisse et plus le déclic se produira vite. La commande du levier  $pq$  est telle qu'à la durée de l'oscillation double 16-19-16 correspond l'oscillation simple 5-7. Il s'ensuit que le déclic peut se produire à toute époque du mouvement, que la soupape soit en train de s'ouvrir ou de se fermer, c'est-à-dire à un moment quelconque de la course du piston-moteur.

La commande du levier  $pq$  part d'un point 5, pris sur la bielle d'admission, point qui décrit naturellement une courbe en œuf. De ce point 5 part une bielle, qui se dirige dans une direction perpendiculaire à celle de la bielle principale pour actionner le levier coudé  $xy$ , lequel renvoie le mouvement au levier  $pq$  par l'intermédiaire de la bielle 5- $y$ . On voit, sur la trajectoire du point 5, que le parcours 5-6-7, qui correspond à un mouvement aller et retour pour l'admission, détermine un mouvement continu dans un seul sens par l'actionnement du déclic.

Remarquons que la position du point d'articulation du levier dépend de la hauteur du régulateur, car ce point se trouve porté par l'extrémité d'un levier  $ul$  relié lui-même à la timonerie de ce régulateur. On conçoit que le déplacement de l'articulation du levier  $xy$  détermine des positions variables de l'angle 5-7 du levier  $pq$ .

En orientant convenablement la commande, on se sert du même point 5 de la grande bielle  $cf$ , pour actionner au moyen de la bielle  $\alpha\beta$  le levier  $w\alpha$  de la magnéto. Le mouvement de déclanchement de la magnéto est lui-même utilisé pour produire l'allumage à rupture sur deux tampons placés dans un même plan vertical. L'avance à l'allumage est obtenue en faisant pivoter  $w$  autour du point 3.

Ces dispositions cinématiques, qui laissent une entière latitude pour les réglages, alors que toutes les commandes se font dans un même plan, et par l'action d'un seul excentrique, sont certainement très remarquables. Elles réduisent au minimum le nombre des pièces de la distribution et donnent un aspect assez simple à la machine.

En somme, le problème de l'admission variable d'un mélange de composition constante a été résolu d'une manière élégante. Le fait de commander la soupape de mélange par le mouvement même de la soupape d'admission est intéressant; l'ouverture de la soupape de mélange est rapide, et celle-ci arrive, avec un temps aussi court que possible, à l'état de repos, en attendant le moment où le déclic se produira. Letombe revendiquait l'avantage suivant : pour de plus courtes admissions, pendant le temps que durent les aspirations, il n'y a aucune modification des pertes de charge dans les conduites d'amenée d'air ou de gaz, du fait de la distribution. On réalise de la sorte les meilleures conditions nécessaires pour que les admissions variables se fassent avec un mélange tonnant de composition constante.



Le moteur de 800 chevaux de Letombe a été construit par les ateliers du Thiriau, près de La Croyère, en Belgique, avec une perfection à laquelle je suis heureux de pouvoir rendre ici hommage. J'ai rendu compte ci-dessus (1) du résultat des essais que j'ai effectués, à la demande de la Société de Kinta, sur cette belle machine qui lui était destinée. La consommation par cheval-heure effectif de mauvais grésillon de coke, renfermant 22,3 % de cendres, fut de 608 grammes.

Letombe a construit plusieurs moteurs pour gaz de fours à coke et de haust fourneaux : il attribuait un meilleur rendement à ces derniers, bien que les gaz fussent plus pauvres. Cette manière de voir de l'habile ingénieur nous a paru devoir être notée.

### 10. Moteur Winterthur.

Les grandes maisons de construction de machines à vapeur ont longtemps considéré le moteur à gaz comme une quantité négligeable et elles l'ont traité en conséquence, c'est-à-dire par le dédain : cette attitude hautaine n'était cependant plus celle qui convenait vis-à-vis d'un rival dont le rendement était très supérieur à celui des machines à vapeur les plus parfaites, qui donnait le cheval-heure effectif par une dépense de charbon moitié moindre, possédait une suffisante élasticité et un coefficient d'irrégularité satisfaisant aux conditions les plus sévères des stations centrales d'électricité. D'autre part, le moteur à gaz s'établissait par unités de un à plusieurs milliers de chevaux, et sa clientèle s'étendait des plus petits ateliers aux grandes installations de puissance motrice, établies au pied des hauts fourneaux et contre les fours à coke. C'était un nouvel ordre de choses qui naissait; les anciens moteurs, dépossédés de leur monopole, trouvaient devant eux un redoutable concurrent, contre lequel la lutte devenait difficile : au lieu de combattre, mieux valait contracter une alliance; c'est ainsi qu'on a vu de grands constructeurs de machines à vapeur, mieux avisés que les autres, devenir en même temps constructeurs de moteurs à gaz. C'est l'exemple qu'a donné la *Schweizerische Lokomotiven und Maschinen Fabrik* de Winterthur en Suisse : nous dirons Société de Winterthur.

Cette puissante maison, fondée en 1871, pour la construction des locomotives et des machines, adjoignit dès 1886 à ses nombreuses spécialités la fabrication des moteurs à gaz, à pétrole et à essence, dans laquelle elle acquit rapidement une grande notoriété. Elle y a gardé une situation prépondérante, par le fait qu'elle n'a pas abandonné la construction des petits moteurs, tout en portant leur puissance à 1.500 chevaux. Ce champ d'action est assez vaste, pour que la Société n'ait pas jugé nécessaire jusqu'ici de dépasser cette limite.

Elle a fait ses premières armes en établissant d'abord un moteur, que nous

1. Cf. tome I, page 568.



appelons aujourd'hui d'ancien style, aux soupapes de décharge sur le côté du cylindre, soupapes d'admission de gaz et d'air à tige horizontale et soupape de mélange à tige verticale sur le fond du cylindre. La commande de l'échappement se faisait par-dessous le cylindre à l'aide de deux leviers coudés et d'une tringle; les soupapes d'air et de gaz étaient mues par une même came avec un déclic sous la dépendance du régulateur, le réglage s'opérant par variation du volume admis et le dosage restant invariable. L'allumage se faisait par incandescence; le bâti avait la forme d'un double bâti Corliss. Cette machine, parfaitement étudiée, était un premier succès.

Mais Winterthur ne s'attarda pas dans cette voie et elle entreprit bientôt une adaptation plus raisonnée des organes des machines à soupapes de la maison Sulzer, sa voisine, à la fonction spéciale de la distribution complexe du gaz, de l'air et de leur mélange à un cylindre de moteur. Elle a été des premières à s'orienter dans cette direction, il est juste de le rappeler.

Son premier modèle de ce type était caractérisé par la position des soupapes d'admission et de décharge, placées sur une même verticale, sur le prolongement de la culasse; les soupapes équilibrées de gaz et d'air alimentaient la soupape de mélange, celle-ci étant commandée par un déclic, agissant sous la dépendance du régulateur. Il n'y a pas lieu de décrire plus explicitement les dispositions adoptées dans cette machine, qui s'est tellement répandue qu'elle semble avoir perdu toute originalité. On arriva rapidement à développer 100 chevaux par cylindre; l'alésage était de 520 millimètres, la course de 0 m. 800, la vitesse atteignait 180 tours par minute; en jumelant ou bien en revenant à la disposition en tandem, on obtenait 200 chevaux.

Le mode d'action du régulateur était déjà remarquable, ainsi que cela ressort du tableau ci-dessous, dans lequel on peut suivre les variations de vitesse et de puissance d'un moteur de 50 chevaux, du quart à pleine charge.

| NOMBRE<br>de<br>TOURS | PRESSION<br>MOYENNE<br>en kg-cm <sup>2</sup> | PUISSANCE<br>INDIQUÉE<br>en chevaux | PUISSANCE<br>EFFECTIVE<br>en chevaux | RENDEMENT<br>ORGANIQUE |
|-----------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| 186                   | 1,61   | 20,35                               | 10,40                                | 0,51                   |
| 185                   | 1,88   | 23,65                               | 15,51                                | 0,65                   |
| 184                   | 2,32   | 29,05                               | 20,00                                | 0,71                   |
| 183                   | 2,75   | 34,20                               | 25,65                                | 0,75                   |
| 182                   | 3,13   | 38,75                               | 30,60                                | 0,79                   |
| 181                   | 3,57   | 44,00                               | 35,45                                | 0,806                  |
| 181                   | 4,02   | 49,45                               | 40,50                                | 0,820                  |
| 180                   | 4,43   | 54,35                               | 45,40                                | 0,836                  |
| 180                   | 4,55   | 55,85                               | 47,20                                | 0,845                  |

La régularité cyclique de ce moteur était remarquable, les variations de vitesse instantanée ne dépassant guère 1 %. Ces observations ont été faites sur un moteur alimenté de gaz pauvre installé à Embrach, en Suisse (Thonwaren-



fabrik) : dans cet important établissement, trois moteurs Winterthur de 100 chevaux et un autre de 40 chevaux actionnent des moteurs triphasés, dans des conditions que diverses revues ont signalées et qui ont appelé l'attention sur cette installation.

La consommation de charbon était très réduite : une expérience de onze mois a fait constater les dépenses totales mensuelles rapportées aux kilowatts enregistrés au tableau de la station. Nous les citons, parce que ce sont des résultats industriels, établis par une observation prolongée.

|                                      | 1901   |         |        |        |        |        |        | 1902    |         |        |        |
|--------------------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|
|                                      | Juin   | Juillet | Août   | Sept.  | Oct.   | Nov.   | Déc.   | Janvier | Février | Mars   | Avril  |
|                                      | kilog. | kilog.  | kilog. | kilog. | kilog. | kilog. | kilog. | kilog.  | kilog.  | kilog. | kilog. |
| Anthracite au gazogène.....          | 16.191 | 15.244  | 16.474 | 15.556 | 16.866 | 16.980 | 16.768 | 16.667  | 15.900  | 15.767 | 17.351 |
| Charbon à la chaudière.....          | 2.447  | 1.943   | 1.662  | 1.484  | 1.825  | 1.980  | 1.992  | 2.250   | 2.330   | 2.110  | 2.050  |
| Combustible total.                   | 18.638 | 17.187  | 18.136 | 17.040 | 18.691 | 18.960 | 18.760 | 18.917  | 18.230  | 17.877 | 19.401 |
| Kilowatts - heures totaux.....       | 20.885 | 21.689  | 22.434 | 21.270 | 24.627 | 25.035 | 25.855 | 27.630  | 26.355  | 25.670 | 27.560 |
|                                      | gr.    | gr.     | gr.    | gr.    | gr.    | gr.    | gr.    | gr.     | gr.     | gr.    | gr.    |
| Anthracite par kilowatt-heure...     | 776    | 705     | 736    | 732    | 686    | 680    | 6.8    | 604     | 603     | 615    | 630    |
| Charbon par kilowatt-heure.....      | 117    | 90      | 74     | 70     | 74     | 79     | 77     | 82      | 88      | 82     | 75     |
| Combustible total par kilowatt-h.    | 893    | 795     | 810    | 802    | 760    | 759    | 725    | 686     | 691     | 697    | 705    |
| Anthracite par cheval-heure ef.      | 491    | 443     | 466    | 464    | 435    | 429    | 411    | 392     | 382     | 388    | 398    |
| Charbon par cheval-heure effec.      | 75     | 57      | 48     | 44     | 47     | 50     | 49     | 53      | 56      | 52     | 47     |
| Combustible total par ch.-h. effect. | 566    | 500     | 514    | 508    | 482    | 479    | 460    | 445     | 438     | 440    | 445    |

Ces chiffres ont encore de l'intérêt aujourd'hui; on a obtenu mieux sans doute, mais les écarts ne sont pas grands entre ces résultats et ceux qu'on relève maintenant. D'ailleurs, hâtons-nous de faire remarquer que le même type de moteurs, installé à l'usine des tramways de Saint-Ouen, a fait ressortir vers le même temps, *en essais de réception*, une dépense de charbon de 395 gr. par cheval-heure effectif.

Mais les moteurs de Winterthur s'amélioraient de jour en jour. Le mode de distribution à admission variable, à teneur constante du mélange, a été conservé dans ses grandes lignes; d'autre part, les organes de commande ont reçu d'heureuses simplifications, dont on peut se rendre compte par l'étude de la figure 199.

La soupape d'admission 4 est disposée sur le même axe vertical que la soupape de mélange 8 et logée dans la même chapelle 5; elle est rappelée sur son siège par le ressort supérieur 11. Le mouvement est pris sur l'arbre de



distribution et obtenu par la came à galet 15, qui actionne la tringle 13 et le levier 12; la soupape d'admission reste ouverte pendant toute la durée de la course d'aspiration. La soupape de mélange 8 est sous la dépendance du régulateur qui n'opère pas sur la qualité, mais sur la quantité : le gaz arrive par 7, l'air par 6; une soupape à double siège laisse passer le gaz; un piston-valve livre accès à l'air dans des proportions invariables, mais durant un temps variable,

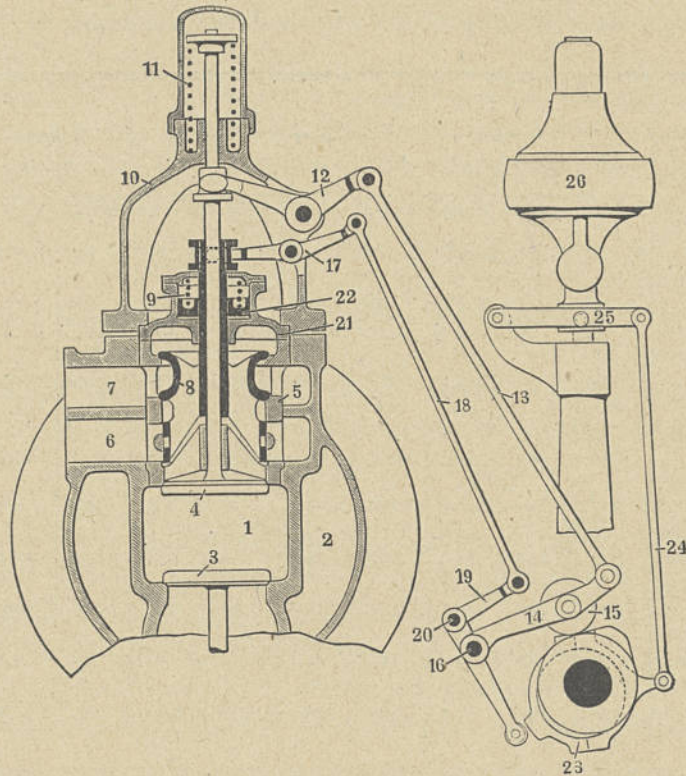


Fig. 199. — Distribution Winterthur.

déterminé par la position de l'excentrique 23, qui agit sur le levier coudé 19-20 et fait mouvoir 18 et 17. Le régulateur 26 déplace suivant le besoin cet excentrique 23. Un dashpot à ressort 22 amortit le choc qui pourrait résulter de la fermeture rapide de la soupape.

Les ingénieurs de Winterthur qualifient leur distribution de *distribution de précision* et ils font valoir que les organes sont très légers, parfaitement équilibrés et qu'ils obéissent rapidement à l'action du régulateur, qui a du reste peu de travail à développer. Leur appareil n'est pas, à vrai dire, constitué par un déclic; mais le ressort *q* assure une rapidité de retombée, suivant le contour de l'excentrique 23, qui est aussi grande que celle des meilleurs déclanchements.

La soupape d'échappement, guidée par un fourreau en métal dur, à faible usure, est aussi commandée par came et galet, à la façon habituelle.



Le bâti de ces moteurs repose sur le massif des fondations par toute sa longueur, et il réalise le type le mieux conçu des formes nouvelles qui sont à la mode aujourd'hui : aussi a-t-il été fréquemment copié par la concurrence. Ce bâti est fondu d'une seule pièce, ainsi que le cylindre : la chemise extérieure de celui-ci, en fonte spéciale extra-dure, est rapportée, à dilatation libre; son remplacement peut être fait sans avoir à toucher à aucune autre pièce de la machine.

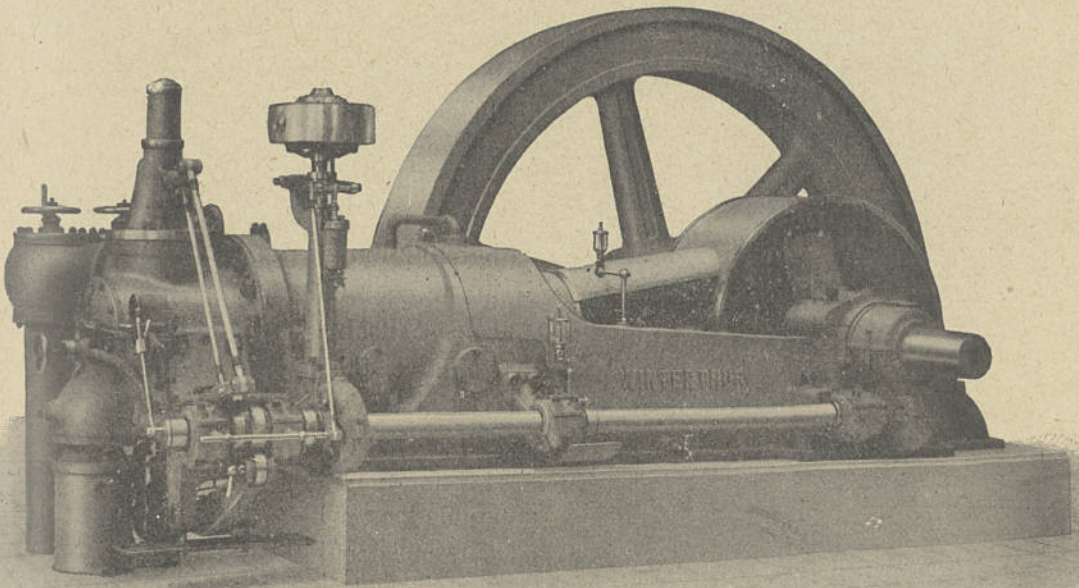


Fig. 200. — Moteur Winterthur.

On peut se rendre compte de ces dispositions sur les figures 200 et 201.

A partir d'une puissance de 50 chevaux, ces moteurs sont à arbre prolongé et troisième palier extérieur.

L'allumage électrique par rupture est fourni par une magnéto à induit oscillant; les organes de commande sont disposés avec un art et un soin que nous devons faire ressortir. L'axe de l'armature d'induit porte un levier coudé; la bielle qui le commande glisse dans un fourreau en laiton à ressorts en doubles boudins, facilement réglables; son extrémité forme une tige percutante, qui vient buter contre la pièce mobile d'un inflammateur à marteau. L'avance se règle à la main, en agissant sur un levier mobile devant un secteur à crans; ce levier tourne sur un axe excentré, et déplace la tringle d'attaque du coudé de l'armature d'induit. Tous les tourillons de cet organisme sont en acier trempé et rectifié.

Le graissage du piston dans le cylindre est effectué sous pression, par une



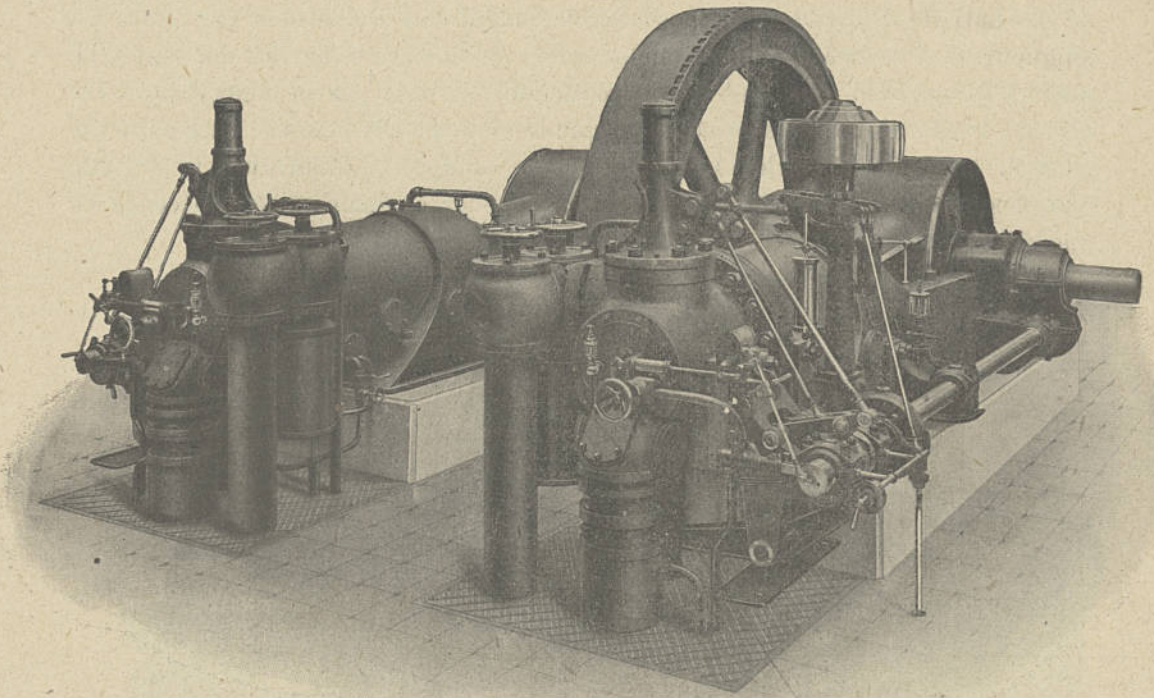


Fig. 201. — Moteurs Winterthur jumelés.

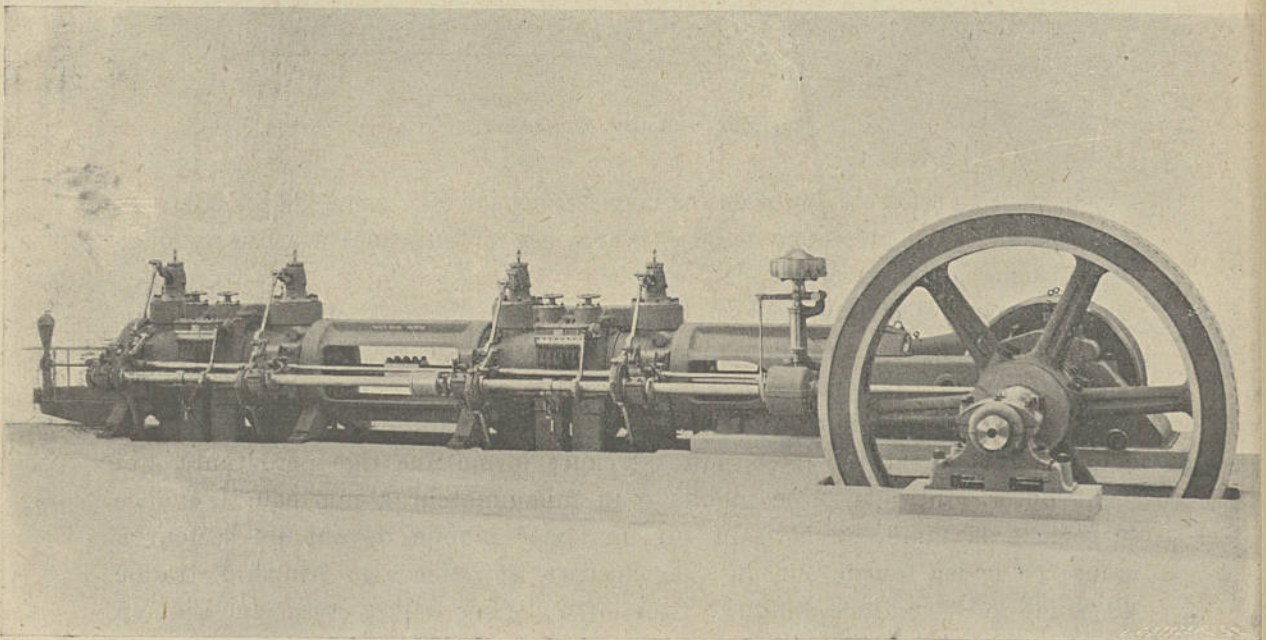


Fig. 202. — Moteur Winterthur à double effet.







Les moteurs monocylindriques se construisent depuis la puissance de 1 cheval, jusqu'à 200 chevaux; les bicylindriques vont de 60 à 400 chevaux, cylindres jumelés ou bien en tandem; au delà, c'est le double effet qui est préconisé.

Les ingénieurs de Winterthur entreprirent cette construction vers l'année 1905, et ils établirent plusieurs types dont la puissance était comprise entre 200 et 700 chevaux par cylindre; ces moteurs sont caractérisés par leur longue course et leur bâti en baïonnette, avec manivelle en porte-à-faux, conforme à celui que Delamare-Debouteville avait essayé autrefois. La course est égale à 1,66 fois l'alésage du cylindre : cette proportion est rationnelle, attendu qu'elle tend à réduire l'action des parois. Les dessinateurs ont, de plus, cherché à rapprocher les sièges des soupapes le plus près de l'axe du cylindre, pour ramener au minimum la surface intérieure de la culasse : c'est la meilleure manière d'assurer une bonne combustion.

Les détails de construction de ces machines peuvent être étudiés sur les figures 202 et 203.

La tige du piston est bien soutenue et guidée, grâce à l'emploi de deux boîtes, formant paliers, placées en prolongement des presse-étoupe, et centrées dans les fonds du cylindre. Cette disposition permet de raccourcir la portée de la tige et de réduire sa flexion, tout en évitant l'usure rapide des garnitures métalliques, dont on a trop souvent à se plaindre dans les puissants moteurs.

Les enveloppes des cylindres sont en deux parties et démontables; la liberté de leur dilatation est parfaitement assurée et le nettoyage des enveloppes à circulation d'eau est rendu facile.

La distribution est figurée sur le schéma portant le n° 204 et l'on peut sans peine se rendre compte de son fonctionnement sur cette épure.

Un excentrique unique commande les soupapes d'admission et d'échappement, cette dernière par le levier de roulement classique des puissants moteurs.

Cet excentrique porte une articulation dont le point 1 décrit l'ellipse 1, 2, 3... (1); ce point est relié à l'extrémité d'un levier de guidage au moyen d'une bielle 1-2, qui lui transmet un mouvement de va-et-vient. Le régulateur intervient par un balancier 2-2 et il le déplace suivant la charge du moteur. La soupape d'admission est combinée avec deux pistons-valves, qui constituent le mélange, et elle est commandée par une tige oblique; son extrémité se déplace sur la courbe ombrée du dessin : cette soupape s'ouvre aussitôt que l'extrémité supérieure vient au contact avec la surface de roulement. Aux positions 1, 2, 3 du régulateur et du balancier correspondent les points de fermeture de la soupape sur l'ellipse 1, 2, 3, l'ouverture se faisant toujours en 1, quelle que soit la position du régulateur; les distances 1-3 et 1-2 représentent ainsi le temps pendant lequel l'admission est ouverte.

1. Voici la traduction des indications de l'épure. *Beginn of exhaust* = début de l'échappement; *dead point of piston* = point mort du piston; *Inlet valve opens* = ouverture de la soupape d'admission; *admission curve* = courbe d'admission; *highest position, lowest position of governor* = position supérieure et inférieure du régulateur; *max opening* = admission maximum.



On voit donc que l'on obtient sans déclie une ouverture variable de la soupape d'admission.

On règle à la main la richesse du mélange au moyen de modérateurs, suivant

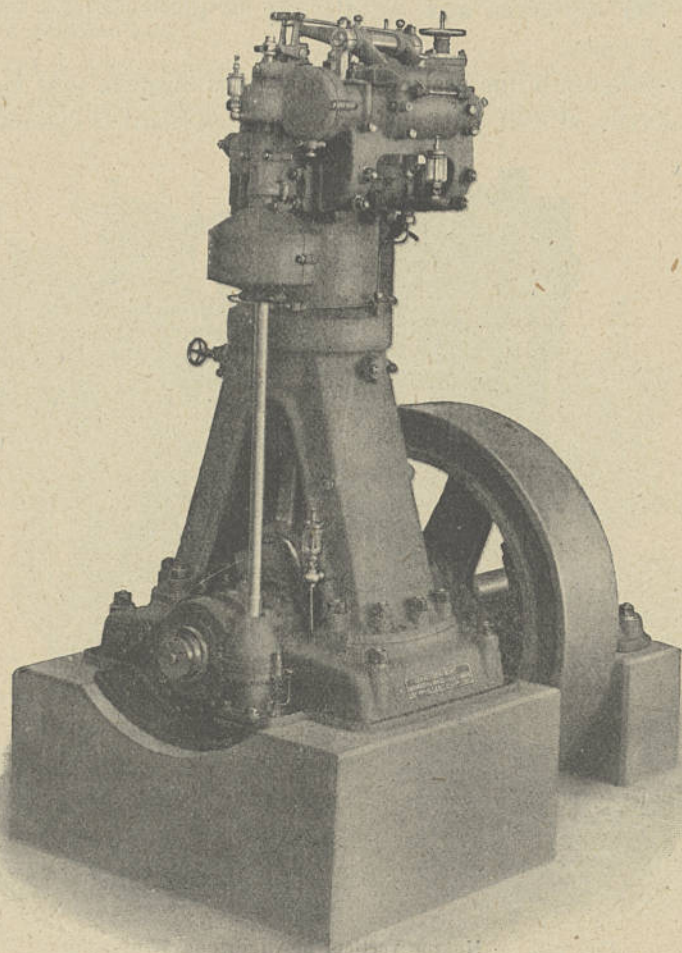


Fig. 205. — Moteur vertical Winterthur.

la qualité du gaz fourni au moteur ; mais, à toutes charges, le régulateur intervient de lui-même pour augmenter selon le besoin la proportion du gaz et maintenir un bon allumage.

L'allumage est effectué par une magnéto à basse tension avec transmission pneumatique Guillou : l'avance se modifie en marche, indépendamment pour chaque appareil.

La Société de Winterthur s'est fait une spécialité de moteurs verticaux, constitués avec les mêmes éléments que les moteurs que nous venons de décrire, mais que leur grande vitesse angulaire et leur encombrement réduit rendent particulièrement avantageux pour des couplages directs avec des génératrices



d'électricité, des ventilateurs, des pompes centrifuges, etc. On a créé des modèles à 1, 2, 3, 4 cylindres : les figures 205, 206, 207 et 208 permettent de se rendre compte des modes d'agencement et de construction de leurs organes.

La figure 209 suppléera aux détails que la photographie n'a pas rendus avec assez de fidélité.

Le bâti se compose d'une assise en fonte, dans laquelle sont logés les paliers de l'arbre manivelle, et d'un bâti en forme d'A contenant le cylindre. La chemise

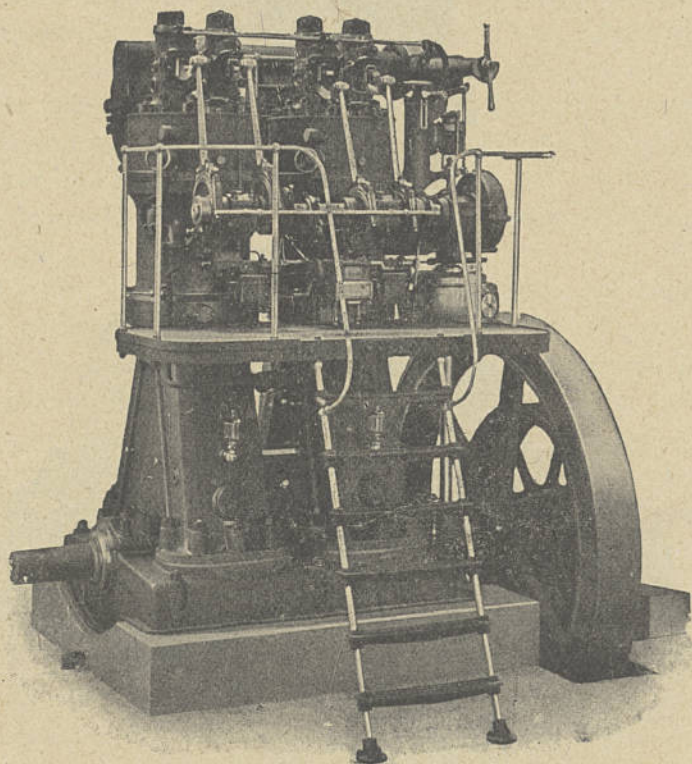


Fig. 206. — Moteur vertical bicylindrique Winterthur.

du cylindre, coulée en fonte dure, est rapportée sur ce bâti. La culasse contient les soupapes, ainsi que la bougie d'allumage; elle est à circulation d'eau; des ouvertures permettent l'enlèvement des incrustations. Le collecteur des gaz de la décharge est lui-même refroidi par une circulation d'eau. Un filtre d'air est employé pour amortir le bruit.

Un arbre vertical, portant le régulateur, transmet le mouvement à l'arbre de distribution A, par engrenages hélicoïdaux (fig. 209). La manivelle B actionne la bielle D, la tringle E et le levier roulant F, qui attaque la tête de la tige de la soupape de mélange. Sur l'axe de celle-ci se trouve un tiroir cylindrique distributeur G. Le gaz vient par le canal horizontal Z et l'air par Z<sub>1</sub>. Le régulateur exerce son action par l'arbre H et la bielle K articulée en L; il fait varier la levée de la soupape d'admission et la durée de son ouverture. Deux modéra-



teurs, disposés sur les conduites de gaz et d'air, donnent la faculté de faire varier à volonté la composition du mélange tonnant : on règle ces modérateurs à la main. Le régulateur est du reste muni d'une balance à ressort, pour régler la vitesse au régime voulu.

La soupape d'échappement est disposée sur la culasse à côté de celle d'admission; elle est commandée elle aussi par un levier roulant.

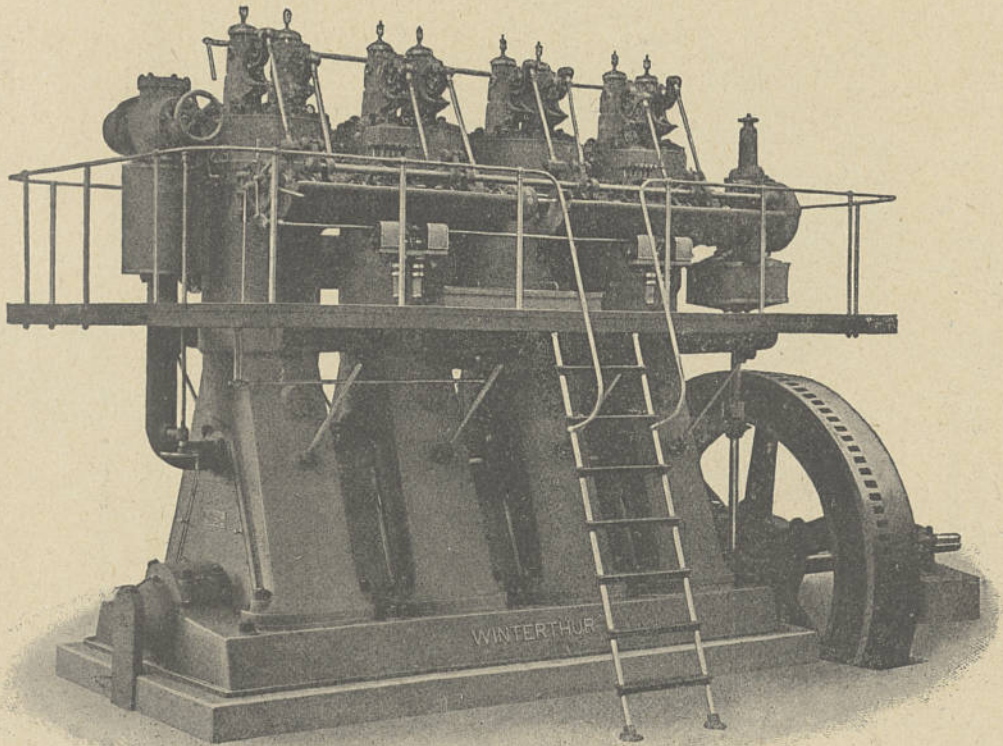


Fig. 207. — Moteur vertical Winterthur à trois cylindres.

La magnéto est placée sur le côté du cylindre, contre l'arbre de distribution; elle reçoit son impulsion par un excentrique, commandant une petite bielle. Le mouvement de rupture est obtenu par une transmission pneumatique; un piston comprime de l'air à chaque oscillation de l'induit; cet air fait mouvoir un second piston qui bute contre la languette de l'axe interrupteur.

Ces machines se prêtent bien à un couplage direct avec des génératrices d'électricité. En effet, leur régularité cyclique est très grande comparée à un moteur horizontal monocylindrique, de même puissance, de même vitesse et de même volant; elle est quatre fois plus grande pour un 3 cylindres et dix fois plus grande pour un 4 cylindres. La puissance de ces moteurs est com-



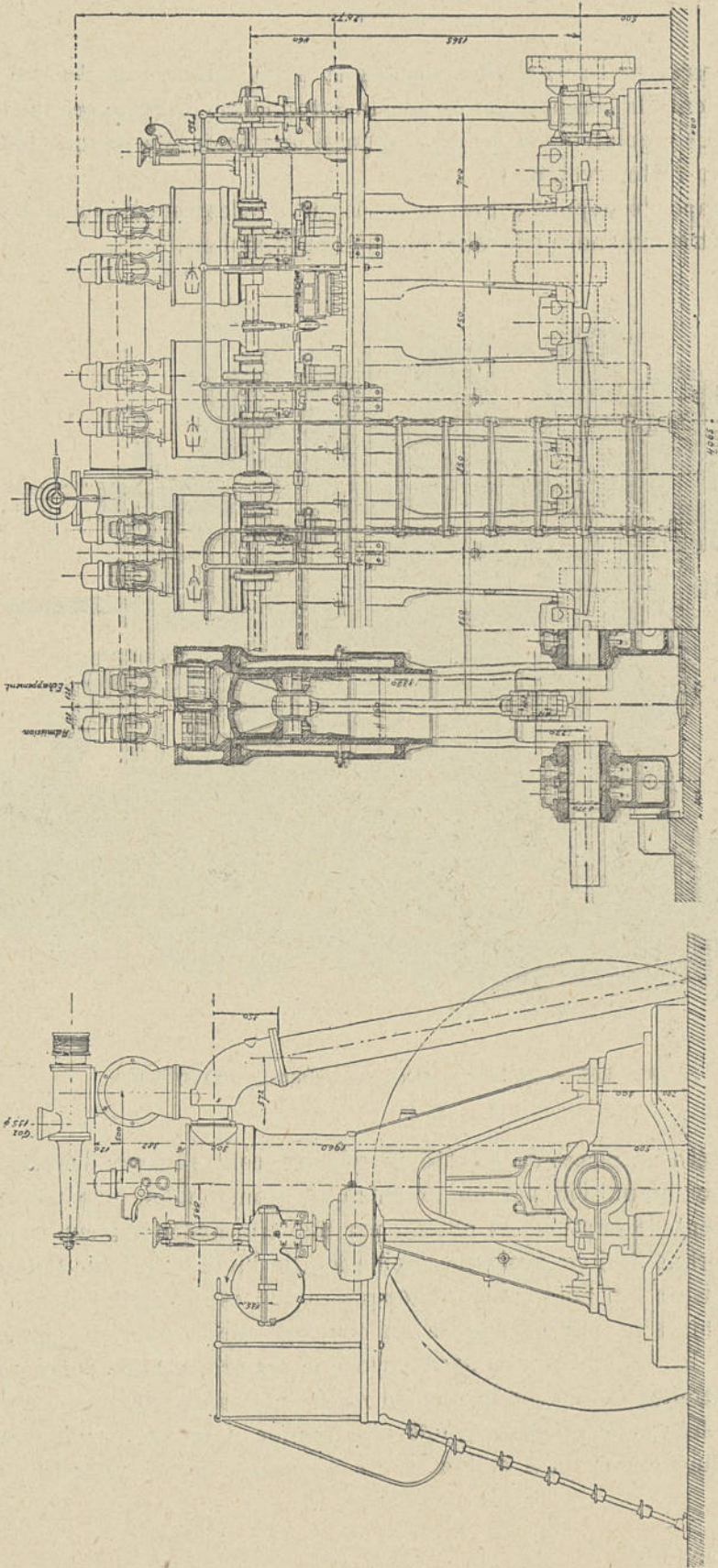


Fig. 208. — Coupe du moteur vertical Winterthur.



prise actuellement entre 30 et 350 chevaux. Un 4 cylindres de 350 chevaux mesure 5 mètres de long, 3 m. 50 de large et 3 m. 60 de hauteur.

En vue des besoins de la navigation, pour les remorqueurs, chalands, bateaux de pêche, etc., on a construit un type marin de dimensions plus réduites encore : ce modèle présente la particularité de permettre d'enlever l'arbre à vilebrequins sans être obligé de rien démonter des cylindres. La vitesse est de 300 tours par minute : ces moteurs fonctionnent généralement à l'air carburé par l'essence ou par le pétrole, mais on peut aussi les alimenter de gaz, et la

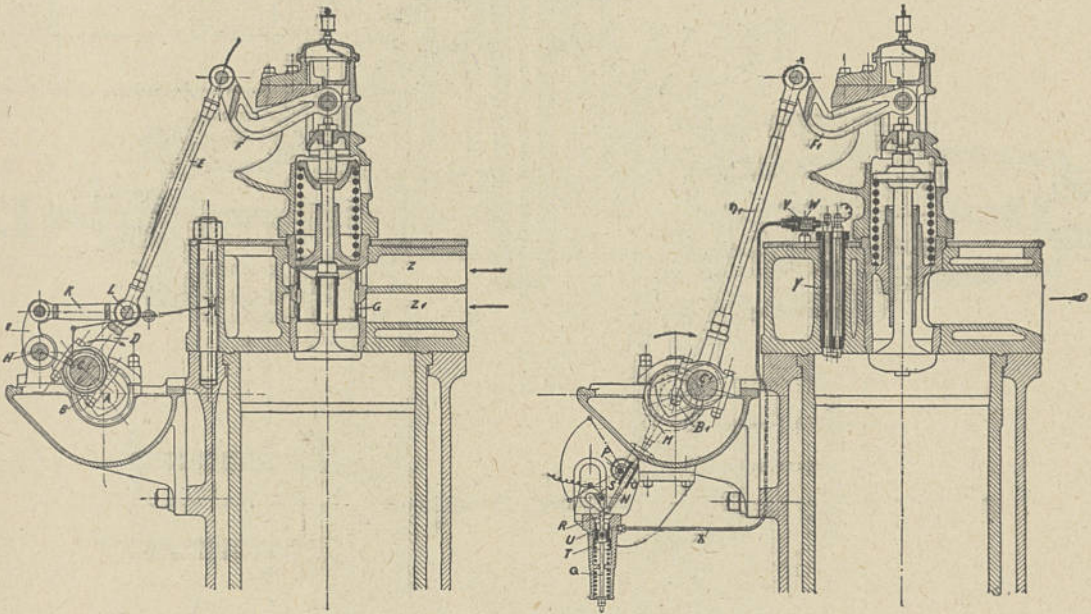


Fig. 209. — Distribution du moteur vertical Winterthur.

Société de Winterthur a eu l'heureuse initiative de construire un gazogène, qui peut facilement s'installer à bord des embarcations. C'est assurément une intéressante application des gaz pauvres, et elle est neuve, sinon inattendue.

La Société de Winterthur a pour unique agent général en France et dans les colonies M. Georges Angst, résidant à Paris et à Marseille; elle est représentée en Belgique par les ateliers de Boussu et par M. J. Defays, à Bruxelles.

### 11. Moteur de Duisbourg.

L'ancienne maison Bechem et Keetman, de Duisbourg-sur-le-Rhin, est devenue la *Duisburger Maschinen-A.-G.* et elle s'est adonnée avec succès à la construction des moteurs à gaz : on nous a communiqué les dessins d'une puissante machine à double effet, dont nous reproduisons deux coupes détaillées (fig. 210 et 211).



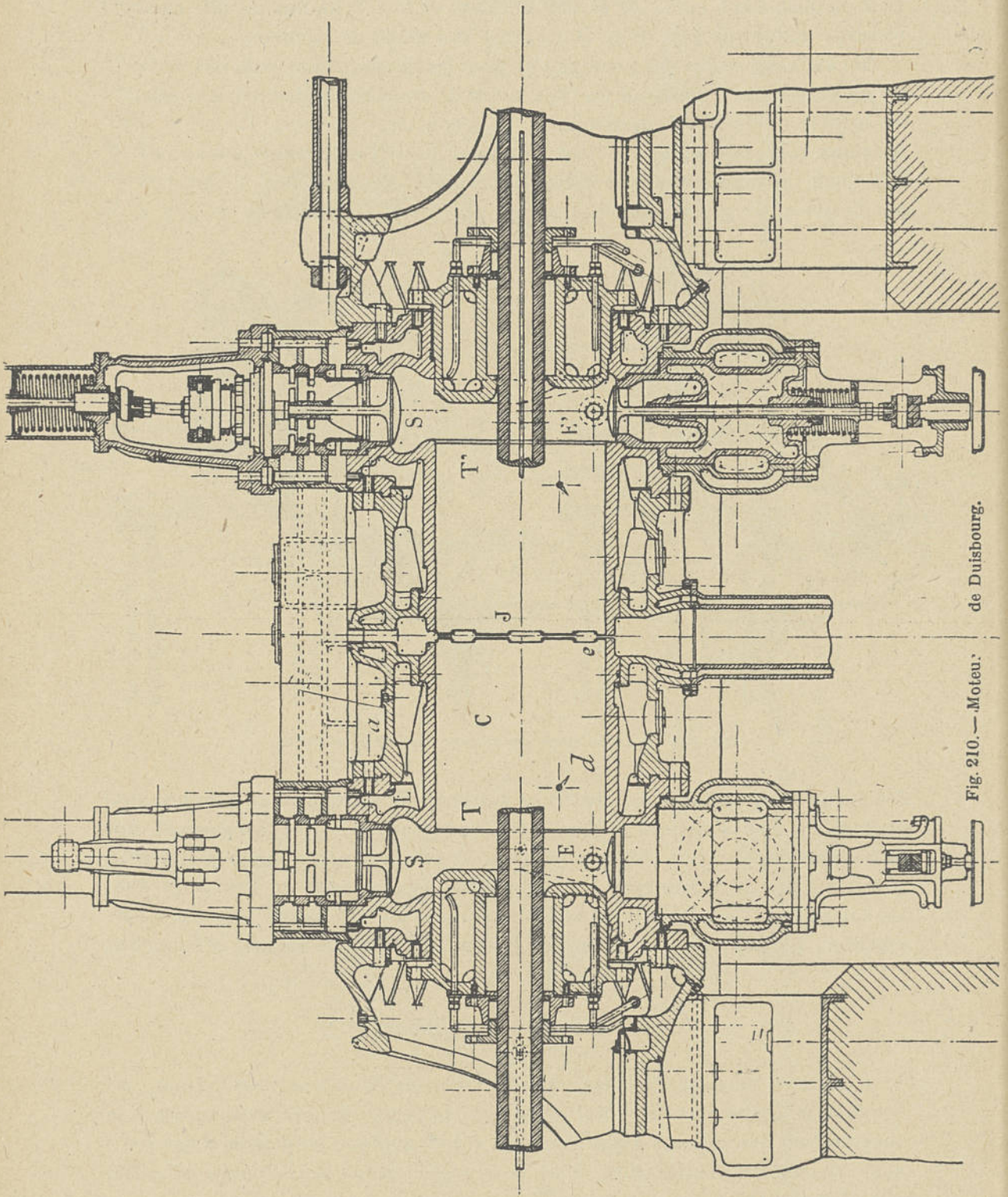


Fig. 210. — Moteur.  
de Duisbourg.



Cette construction est caractérisée par une nouveauté : c'est chose assez

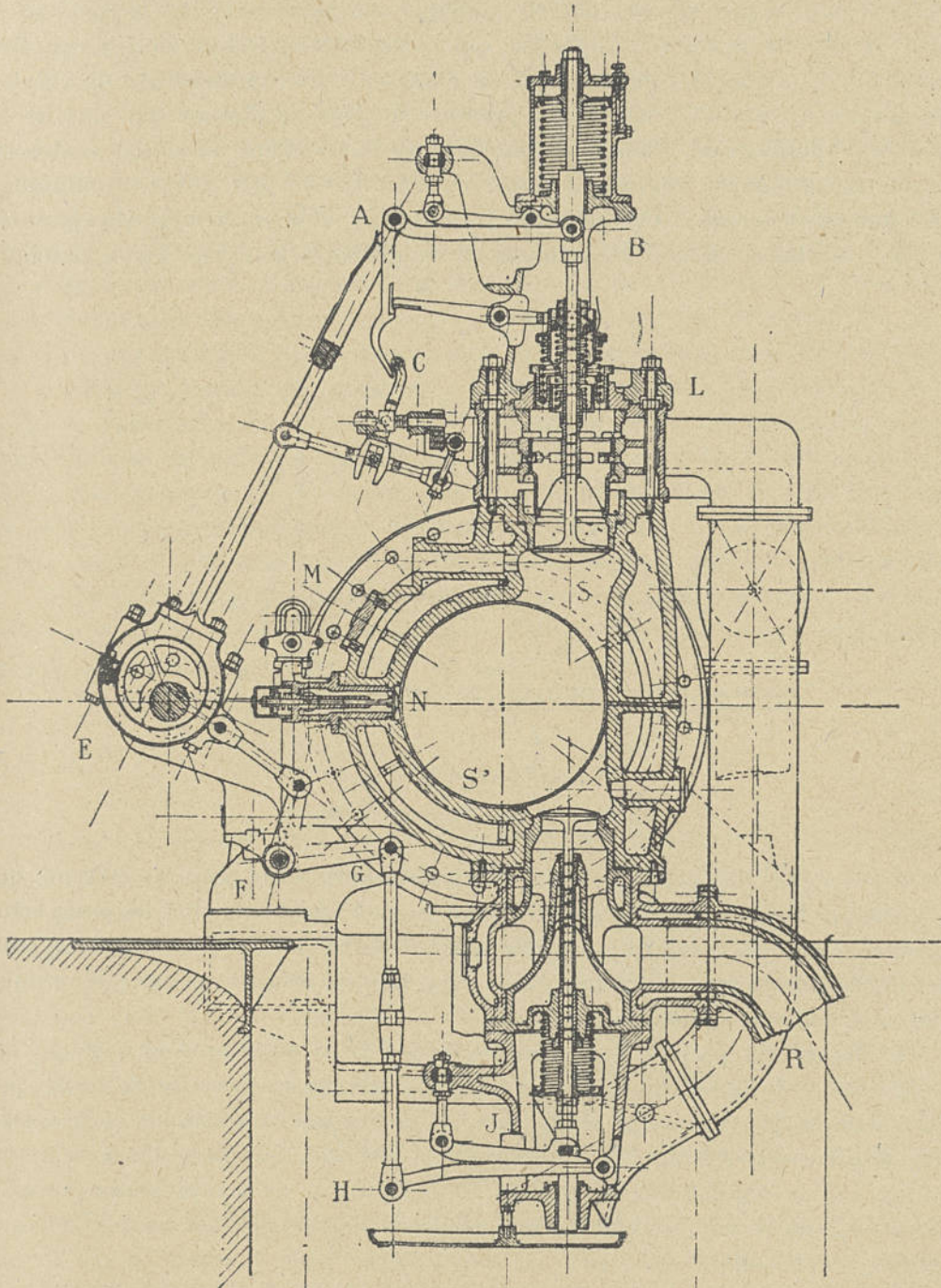


Fig. 211. — Distribution de Duisbourg.

rare pour que nous la mettions en lumière. Dans le but d'assurer une parfaite diffusion du combustible dans le comburant et par suite d'obtenir une com-



bustion complète, on a eu l'idée de rejeter sur le côté de l'axe du cylindre l'axe vertical dans lequel se trouvent les soupapes d'admission et d'échappement S et S'. Il résulte de cette construction que le mélange introduit dans le cylindre prend un mouvement tangential, et est sollicité à décrire une sorte de volute, qui assure un parfait brassage du produit; de plus, la flamme qui part de la bougie d'allumage est elle-même animée d'un mouvement hélicoïdal analogue, et elle tourbillonne à travers la masse à enflammer en produisant un allumage instantané et complet. Cet effet est à rechercher avec un grand soin dans les grosses machines et avec les admissions de mélanges pauvres, qu'on pratique

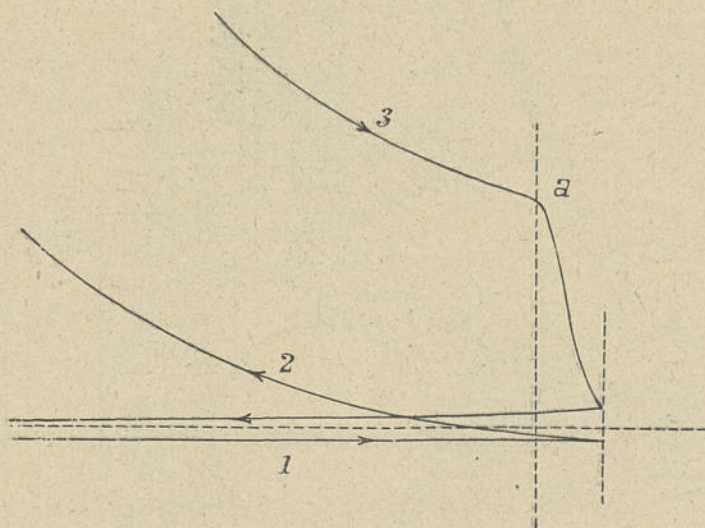


Fig. 212. — Diagramme de Duisbourg.

de plus en plus aujourd'hui : il est particulièrement utile dans les moteurs qui règlent par la quantité. C'est le cas du moteur de Duisbourg : or, les prospectus déclarent que les combustions s'effectuent dans les meilleures conditions pour les mélanges pauvres correspondants aux faibles charges, et les diagrammes qui nous ont été soumis en témoignent.

La figure 211 permet de se rendre compte de la manière dont s'effectue la distribution. L'excentrique unique E commande les organes de décharge par un renvoi FGH, en agissant sur le levier J. La soupape d'admission constante S est actionnée par AB à la façon habituelle : le déclit C dont la position est déterminée par le régulateur, interrompt l'accès du gaz en temps voulu, suivant les besoins du travail; on voit distinctement sur notre dessin le tiroir cylindrique employé à cet effet.

Une autre particularité du moteur que nous décrivons consiste dans la forme du piston, qui est double : on ne peut pas s'en rendre compte sur nos dessins, attendu que ces deux pistons ont été enlevés. Voici l'origine et le but de cette duplication. La chemise intérieure du cylindre est formée de deux



parties, qui se rejoignent au milieu de l'axe, en laissant entre elles un intervalle S (fig. 208) qui sert de lumière d'échappement auxiliaire; quand le système des deux pistons approche de l'extrémité de la course, cette lumière se trouve démasquée et il se produit alors une évacuation partielle. Lorsque la soupape de décharge s'ouvre elle-même, la tension des gaz n'est plus guère que de 1 kg. 5. Il en résulte trois avantages : 1<sup>o</sup> les sections des soupapes de décharge peuvent être réduites; 2<sup>o</sup> le travail à dépenser pour les soulever est grandement diminué, et 3<sup>o</sup> il n'est plus besoin de refroidir ces soupapes par une circulation d'eau. Le diagramme prend la forme de la figure 212; le point *a* correspond au commencement de la décharge par les lumières J. Il part donc du cylindre trois conduites d'évacuation des gaz brûlés, l'une du centre, les deux autres des extrémités du cylindre; elles sont toutes trois refroidies à l'eau.

L'allumage est fait par magnéto : le tampon est placé tout contre la soupape S d'admission et sa position est déterminée rationnellement, de façon à produire une mise de feu certaine dans les mélanges les plus pauvres, en profitant des mouvements giratoires déterminés, comme nous l'avons dit, dans la chambre de combustion dissymétrique comprise entre les soupapes désaxées. Cette étude des formes est trop fréquemment négligée par les constructeurs.

Malgré les succès qu'elle avait obtenus, la maison de Duisbourg a renoncé à la construction des moteurs à gaz, pour s'adonner plus librement à des entreprises sans doute plus fructueuses et moins aléatoires.

## 12. Moteur Dingler.

Ce moteur est construit par la *Dingler'sche Maschinenfabrik A.-G.* à Deux-Ponts, (Zweibrücken) en Bavière : il diffère entièrement de forme d'avec le type habituel, en ce qu'il se compose de deux cylindres ouverts, qui sont accolés dos à dos par leur chambre de combustion, ainsi qu'on le voit sur la figure 21. Les pistons sont reliés par une tige, traversant un stuffing-box pratiqué dans le fond commun; l'étanchéité du joint mobile est obtenue par un moyen spécial, la tige portant elle-même ses segments. Cette disposition présente l'avantage de se prêter parfaitement à la dilatation des enveloppes, qui s'effectue très librement vers l'avant et vers l'arrière; d'autre part, chaque cylindre a la simplicité d'un simple effet; mais le fond commun est moins facilement accessible.

Les pistons sont en fonte spéciale; ils sont fixés sur des rainures portées par la tige au moyen d'étriers en deux pièces; des cercles en acier faisant ressort assurent l'étanchéité du joint. Pour démonter le piston, il n'y a que quelques vis à défaire et l'opération s'effectue avec une étonnante rapidité; on prétend qu'il suffit de trois heures pour démonter, inspecter, nettoyer et remettre en place les deux pistons et les soupapes d'admission et d'échappement. Il est



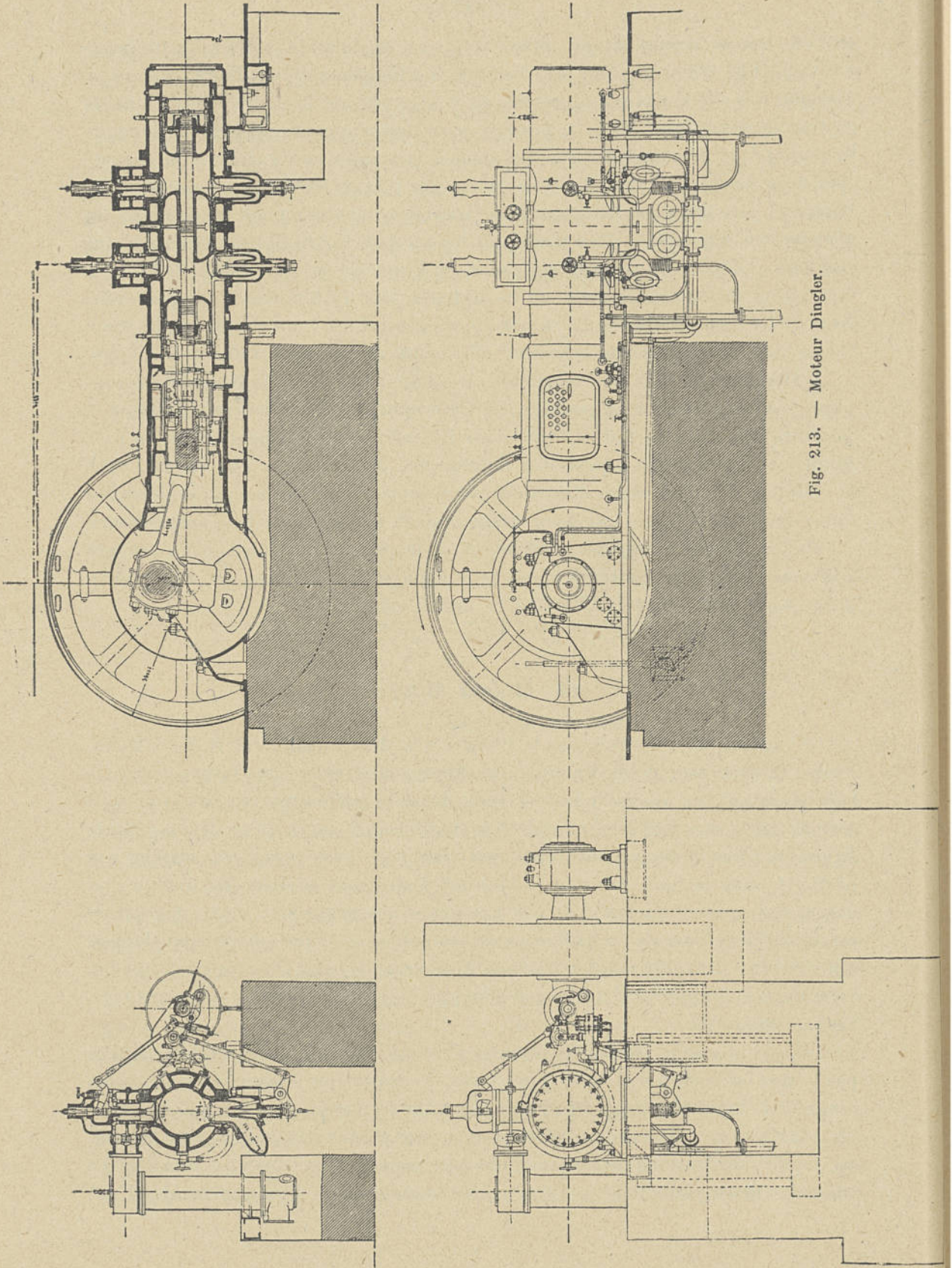


Fig. 213. — Moteur Dingler.



à remarquer que les pistons sont de véritables plongeurs : sur une partie de leur longueur ils forment glissière, et sont garnis d'alliage anti-friction. Ces pistons sont refroidis par une circulation, ainsi que le fond commun.

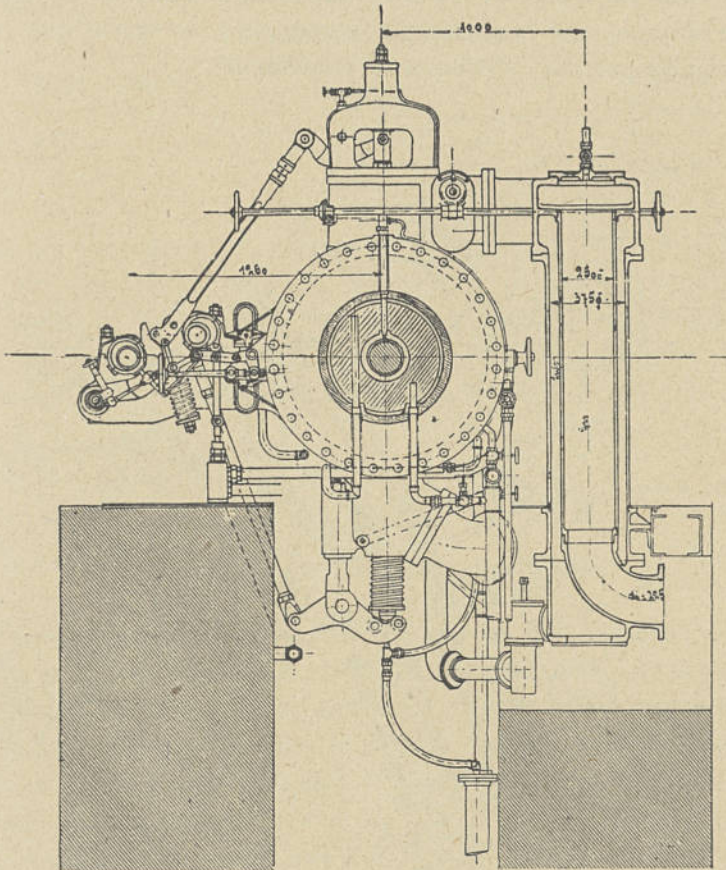


Fig. 214. — Distribution Dingler.

La distribution est effectuée d'une manière très singulière, dont nous ferons la description d'après les deux figures 214 et 215.

L'arbre de distribution à demi-vitesse est en *a* ; il porte une came, qui agit sur le galet *M* du levier *ML*, à la façon ordinaire, et qui actionne la tringle *d* de l'admission de la façon suivante. L'arbre *b*, parallèle à *a*, tourne à la même vitesse que le moteur ; il sert d'axe à un régulateur horizontal, qui a pour fonction de modifier l'orientation de la came montée sur cet arbre en proportion de l'écartement de ses boules. Cette came agit sur le galet *Q* d'un levier courbe, pivotant sur l'axe *c* ; l'extrémité supérieure libre de ce levier porte une sorte de chemin de roulement, qui se déploie donc sous l'action du régulateur. Or, la tringle d'admission reçoit son mouvement de la came de l'arbre *a*, mais ce mouvement est subordonné à celui d'un galet, appuyant sur le chemin de roulement, de sorte qu'il est sous la dépendance du régulateur. Il en résulte que le



régulateur régit non seulement la levée de la soupape, mais encore la durée de cette levée. La levée plus ou moins grande résulte du mouvement complexe de la molette de la tringle *d*, soulevée par la came de distribution tout en restant maintenue par le ressort *R* contre le chemin de roulement. Cette molette parcourt, en somme, une trajectoire concentrique ou excentrique par rapport à l'axe *c* du levier portant le chemin de roulement.

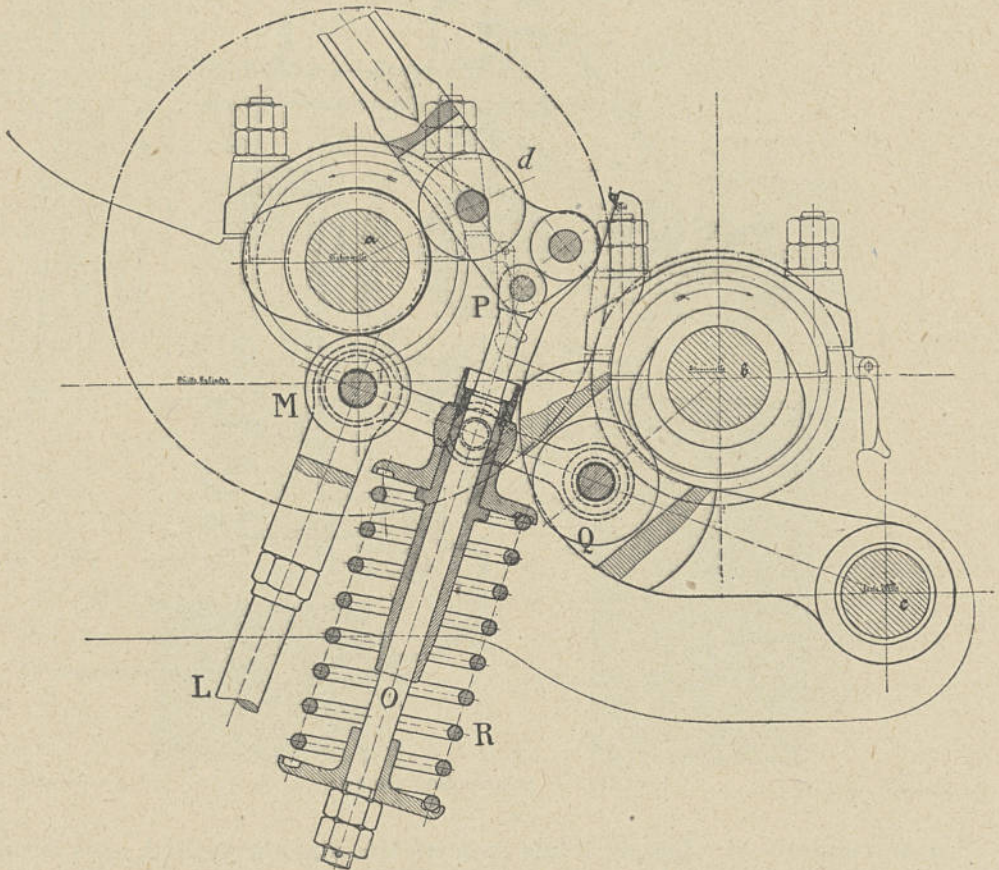


Fig. 215. — Détails de la distribution Dingler.

La soupape d'admission porte un tiroir cylindrique, concentrique à son axe, qui forme le mélange suivant le besoin.

L'allumage est effectué par magnéto; l'instant où jaillit l'étincelle est déterminé sous le contrôle du régulateur par un appareil spécial breveté (1), tout en permettant l'intervention du conducteur du moteur, laquelle peut s'exercer en marche.

Les constructeurs déclarent avoir attaché une grande importance à la forme de la chambre de combustion, ce qui est conforme aux principes de la meilleure théorie expérimentale. Ils pratiquent le balayage des chambres.

1. Brevet français n° 341.360.



Les prospectus de la maison Dingler renferment d'intéressantes données de fonctionnement. La pression explosive d'un moteur de 160 chevaux étant de 29 kilogrammes, la pression moyenne est de 5,6 kilogrammes; puis elle varie ainsi qu'il suit :

| PRESSION MOYENNE   |          |
|--------------------|----------|
| Pleine charge..... | 5 kg. 6  |
| 2/3.....           | 3 kg. 92 |
| 3/7.....           | 2 kg. 97 |
| 2/5.....           | 2 kg. 80 |
| A vide.....        | 1 kg. 12 |

L'action du régulateur est extrêmement rapide, ainsi que le montrent les graphiques relevés au tachygraphe; un moteur de 160 chevaux revient à sa vitesse de régime en 0,85 seconde, quand on le décharge de 95 chevaux à vide; il suffit de 5,5 secondes, de pleine charge à vide. On garantit pour certains moteurs à double effet en tandem, destinés à des services électriques, un coefficient d'irrégularité du  $\frac{1}{150}$ .

### 13. Moteur Ehrhardt et Sehmer.

Les ateliers Ehrhardt et Sehmer sont situés à Schleifmühle, près de Saarbrück, dans la Sarre : la maison avait conquis depuis longtemps une juste notoriété pour la construction du matériel d'usines métallurgiques; elle devait être amenée nécessairement à faire le moteur à gaz de haut fourneau.

Ses moteurs sont à quatre temps, à double effet, avec réglage quantitatif : ils sont munis d'une soupape brevetée, dite à débit constant, parce que les sections ne changent pas, quelle que soit sa levée : son emploi répond à l'objection qui a été faite, relativement aux effets d'inertie dus aux variations de vitesse de l'air et du gaz.

Ces moteurs présentent une particularité qu'il faut signaler : contrairement à ce qui se fait généralement, le gaz combustible est admis dès le commencement de la course d'aspiration, et son afflux est coupé par le régulateur au moment qui convient. L'air continue alors d'arriver au cylindre et il balaie entièrement les cavités en aval de la valve à gaz. Le mélange riche suit donc le piston; l'air pur remplit la culasse et la chambre de compression et d'allumage. Cette manière de faire témoigne du scepticisme le plus absolu à l'égard de la théorie des tranches : or les résultats ne sont pas inférieurs à ceux qu'obtiennent les ingénieurs qui s'efforcent de servir le gaz sur la fin de la course; la théorie des tranches est donc définitivement condamnée. Nous n'essaierons pas de la défendre.

Le déclic employé peut présenter dès lors la plus grande analogie avec celui des machines à vapeur à soupapes.



On revendique la possibilité de faire varier à la main, dans de très larges limites, la composition du mélange et d'alimenter, par exemple, avec la même facilité, avec du gaz de haut fourneau ou du gaz de four à coke.

Les soupapes d'échappement se démontent par le dessous : pour faciliter cette opération, on a dégagé les fondations le plus possible.

La maison Ehrhardt et Sehmer a fait breveter récemment, et elle applique à ses moteurs à gaz de hauts fourneaux des dispositifs nouveaux de balayage avec remplissage sous pression, qui présentent quelques perfectionnements intéressants des procédés et des appareils employés à cet effet jusqu'ici.

Et d'abord, le moteur comprime lui-même l'air dont il a besoin, au lieu de l'emprunter à des compresseurs indépendants. La pompe, à cylindre horizontal, est installée derrière le cylindre moteur, dans le prolongement de son axe; le patin habituel de guidage de l'extrémité de la tige constitue son piston. La distribution de l'air est effectuée par un tiroir cylindrique tournant. Cet agencement n'augmente pas la longueur de la machine. D'autre part, la quantité d'air comprimé se règle d'elle-même d'après la vitesse du moteur.

Précédemment, le balayage nécessitait l'adjonction d'une troisième conduite et d'une chambre complémentaire à soupape sur le cylindre : cette complication est désormais évitée, on ne prend plus d'air directement à l'atmosphère; l'entrée de l'air comprimé est plus ou moins étranglée, aux diverses phases de l'aspiration. Une simple soupape à plateau sépare la chambre à air de la chambre à gaz. La soupape à gaz est à double siège, pour empêcher l'air de rinçage de pénétrer dans la conduite à gaz, quand la soupape d'admission au cylindre est fermée. La lanterne de soupape porte deux étages de lumières superposées.

Ces nouvelles dispositions peuvent être adoptées aisément à des machines existantes.

MM. Ehrhardt et Sehmer garantissent une puissance de 3.700 chevaux avec balayage pour 3.100 sans balayage; le rendement s'améliore en même temps de quelques pour cent, ce qui n'est pas négligeable.

#### 14. Moteur Thyssen.

Ce moteur reflète, dans son ensemble et dans quelques-uns de ses détails, le concept de la machine de Nuremberg, à la création de laquelle l'ingénieur en chef de MM. Thyssen, M. Richter, avait contribué : toutefois, l'étude très fouillée de ses divers éléments et le fini de sa construction lui donne un cachet particulier, d'où découle son originalité. Les figures 216 et 217, dessinées d'après les dessins qui nous ont été confiés avant la guerre, permettront de suivre la description que nous allons donner.

Le type adopté est à quatre temps avec cylindres à double effet, disposés en tandem : ceux-ci ne reposent pas sur des pieds, qui entraveraient l'accès



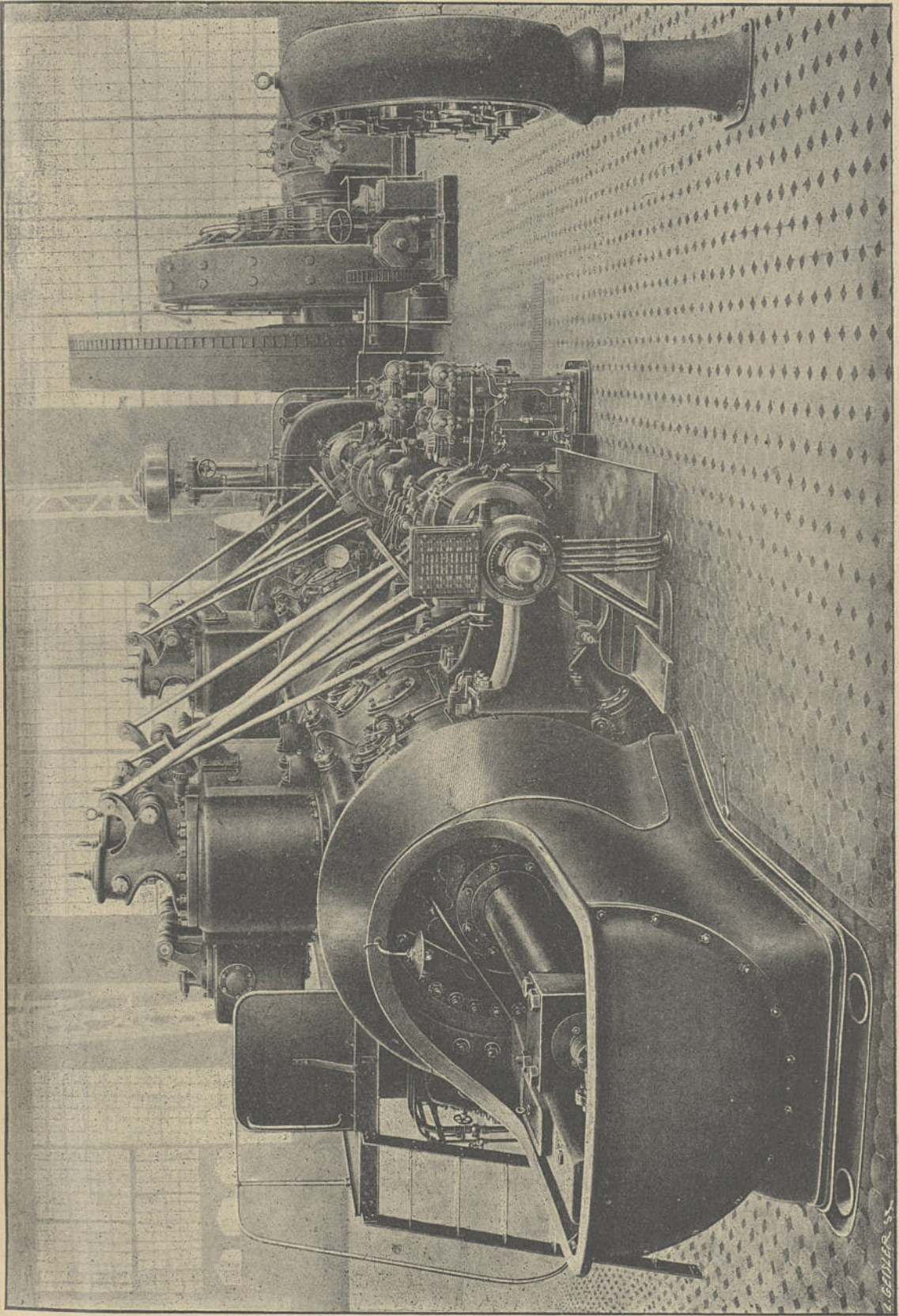


Fig. 216. — Moteur Thyssen.



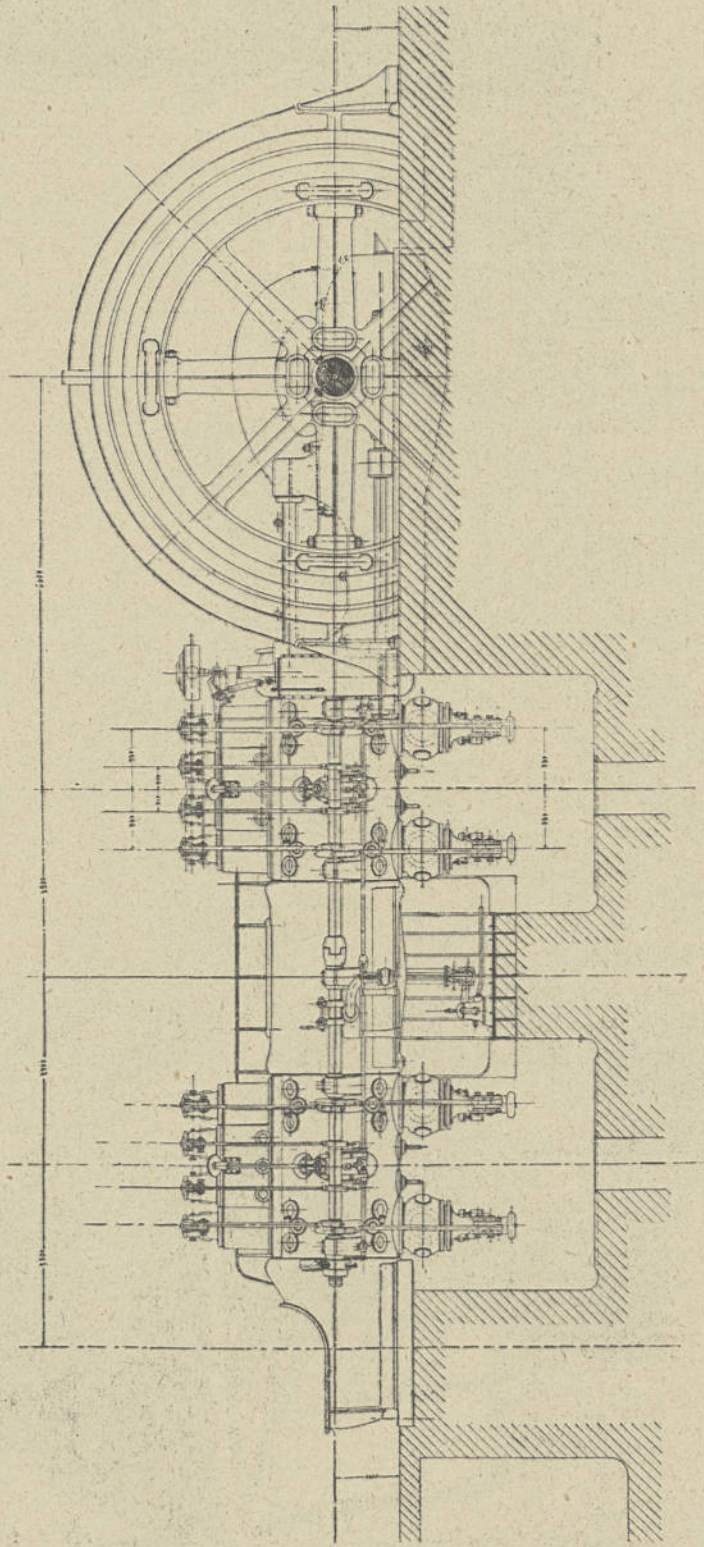


Fig. 217. — Vue latérale du moteur Thyssen.



des soupapes de décharge et des canalisations inférieures, mais ils sont entièrement portés par le bâti, dont les larges assises fournissent une assiette solide. Le cylindre intérieur en fonte dure spéciale et l'enveloppe sont coulés séparément, et des mesures sont prises pour remplacer facilement le premier, dans le cas où une ovalisation se serait produite. M. Richter considère le cylindre comme la pièce la plus ingrate du moteur à gaz (*das schwierigste Stück*, dit le prospectus), et il a consacré une attention particulière à son établissement et à sa bonne exécution. On remarquera la symétrie des formes, l'égalité des épaisseurs de métal, la capacité de la chemise d'eau, la liberté des dilatations, etc.

Le réglage ne se fait pas, comme dans les moteurs de Nuremberg, par variation de la teneur du mélange; il est mixte, car il agit à la fois sur la qualité et la quantité de mélange, tout en maintenant la constance du volume total des gaz introduits. Pour obtenir ce résultat, le mélange est fabriqué par un organe distinct, dans lequel un tiroir cylindrique et une soupape à double siège sont montés sur un même axe : la soupape livre passage au gaz et le tiroir à l'air; mais celui-ci peut continuer de servir de l'air, lorsque la soupape est déjà fermée. L'introduction dans le cylindre du mélange ainsi préparé s'effectue sous la dépendance du régulateur, par un déclat spécial, qui retarde l'entrée, mais l'arrête toujours à la fin de la course. On a cherché à réaliser une même vitesse de l'air et du gaz pour toute admission, en se préoccupant surtout de constituer un mélange aussi homogène que possible : les bonnes combustions réalisées montrent que ce but a été atteint.

Un robinet d'arrêt, placé sur la conduite du gaz, permet au besoin de supprimer un effet. La mise en route par l'air comprimé s'obtient en agissant sur un seul cylindre, l'autre étant mis en ordre de marche et alimenté de gaz. La pression de l'air est de 20 à 25 atmosphères.

Le graissage de tous les organes est fait sous pression, l'huile étant refoulée par une pompe, du genre Mollrupt, ou provenant d'un réservoir supérieur : celle-ci se rassemble dans des bassins inférieurs, où elle peut être refroidie par une circulation d'eau.

Les ateliers Thyssen sont situés à Mulheim, sur la Ruhr.

### 15. Moteur Union.

Cette machine a été construite à Essen par la *Maschinenbau-Aktiengesellschaft Union*; cette puissante maison, qui s'est fait un nom dans la construction allemande par ses multiples produits, avait réalisé un type de moteur à gaz bien conçu, et soigneusement étudié, qui avait été remarqué à l'Exposition de Liège (1). L'objectif du dessinateur de cette machine paraît avoir été

1. Les ingénieurs de l'Union avaient autrefois essayé de placer la soupape d'admission sous le cylindre, alors que l'échappement se faisait par-dessus : on prenait argument de ce que la décharge doit plus souvent être visitée et qu'il importe de faciliter cet examen le plus possible.



de simplifier le plus possible tous les éléments. La distribution d'admission n'a qu'un seul organe commandé, c'est la soupape principale. Le réglage qualitatif est obtenu par des papillons, logés dans les conduites d'air et de gaz, et placés sous la dépendance du régulateur; une soupape de mélange, disposée en arrière de ces papillons, est automatique; elle se soulève sous l'action aspirante du piston.

Tous les organes distributeurs sont commandés par un seul excentrique monté sur l'arbre à demi-vitesse; ils rappellent les dispositifs souvent employés dans les machines à vapeur à soupapes, et se composent de leviers roulants avec points de rotation fixe : les soupapes sont soulevées et reposées doucement sur leurs sièges. Par l'emploi de galets, adaptés aux articulations des leviers, on a supprimé les glissements, et on les a remplacés par des roulements, qui diminuent l'usure. L'excentrique commande aussi l'allumage : l'interruption du courant, fourni par des magnétos Bosch, varie avec la charge du moteur, l'avance étant d'autant plus grande que le travail demandé est moindre. On fait remarquer que, par suite de cette avance, la tension explosive produite augmente la compression, devenue alors plus faible.

On revendique pour ce mode de distribution une parfaite régularité, et on l'attribue à l'extrême sensibilité du régulateur, qui n'a à commander que des papillons : la variation de vitesse entre pleine charge et vide est de 4 %.

Pour la mise en marche à l'air comprimé, on met d'abord les soupapes d'échappement sur deux temps : au moyen d'une petite manivelle, on amène la soupape d'air placée horizontalement du côté de l'arbre de distribution, dans la zone d'activité d'un galet rapporté latéralement sur la tige de l'excentrique. Aussitôt le moteur lancé, on le remet à quatre temps.

Les directeurs de la Société de l'Union ne soumissionnent plus depuis bon nombre d'années pour la construction des puissants moteurs à gaz, dans laquelle ils avaient pourtant acquis une légitime notoriété; ce fait témoigne éloquemment des difficultés que présente cette branche de l'industrie mécanique.

## 16. Moteur Haniel et Lueg.

La puissante maison de Dusseldorf a suivi l'exemple que lui donnaient tous les grands constructeurs allemands, et elle a établi à son tour un modèle de moteur à quatre temps et double effet. Le type de 2.000 chevaux a 1.100 millimètres de diamètre de cylindres, 1 m. 300 de course et il est réglé à 94 tours par minute : en le jumelant, on obtiendrait 4.000 chevaux.

Nous empruntons à un prospectus richement illustré les indications qui suivent.

Le réglage est qualitatif; le constructeur fait état de la constance de la



compression qui en résulte, en revendiquant un bon allumage et une combustion complète des mélanges les plus pauvres, grâce à des artifices spéciaux. La soupape de mélange reçoit le mélange formé dans un organe voisin, sous la dépendance du régulateur; l'air passe d'abord, puis le gaz, dont l'afflux continue jusqu'à la fin de la course. Le régulateur exerce son action par un appareil à déclic, en le mettant en prise plus ou moins tôt et en l'abandonnant toujours à fin de course. Les diagrammes relevés sont beaux. On obtient une pression moyenne de 5 kg. 32 avec du gaz de haut fourneau (compression = 12 kg. 5 et pression explosive = 23 kilogrammes) et de 6 kg. 48 avec du gaz de four à coke (compression = 8 kilogrammes et pression explosive = 24 kilogrammes).

Les cylindres sont fixés sur le collet du bâti par un très grand nombre de boulons à filet très fin, ce qui constitue une garantie contre le desserrage. On en compte 64, rangés sur deux cercles concentriques, pour un cylindre de 1.050 millimètres d'alésage.

Le bâti appuie sur les fondations par toute sa longueur : il est creux, et muni d'ouvertures latérales, qui permettent l'accès des stuffing-box; on les ferme par des portes en tôle. La pièce de jonction des cylindres en tandem est très robuste et néanmoins pourvue de deux boulons d'acier. Le stuffing-box à garniture métallique est à deux compartiments consécutifs, renfermant des anneaux de serrage biseautés et des bagues en coin accouplées deux par deux.

Le prospectus montre la photographie de la tige portant ses deux pistons; ceux-ci sont fixés à l'ordinaire par un cône et un filet trapézoïdal. Leur poids est entièrement porté par les crosses, qui sont en acier Martin et garnies de métal blanc antifricition.

### 17. Moteur Schuchtermann et Kremer.

Le cylindre de ce moteur présente la particularité d'une disposition latérale de la soupape d'échappement, alors que la soupape d'admission occupe la position habituelle au-dessus du cylindre. L'évacuation des huiles est effectuée par une soupape de purge, commandée mécaniquement. Le piston est construit en deux pièces, assemblées par des boulons, dont l'accès n'est pas très facile.

Le réglage est opéré suivant la méthode préconisée par M. Reinhardt : un mélange de teneur constante est admis en quantité variable, mais la compression est maintenue égale à toutes charges, grâce à une adjonction d'un volume d'air. Voici de quelle manière ce résultat est obtenu : la soupape d'admission est surmontée d'un tiroir cylindrique indépendant, monté sur une tige concentrique à celle qui commande la soupape; ce tiroir découvre trois ouvertures, l'une A pour le gaz, et deux autres B et B' pour l'air. C'est



l'orifice B' qui est ouvert le premier : il laisse passer une charge d'air pur; le tiroir est alors maintenu levé par un dé clic. Celui-ci venant à déclancher, sous l'action du régulateur, le tiroir retombe et livre entrée au gaz et à l'air, par A et B, formant un mélange qui est toujours le même. A la fin de la course du piston, l'admission se ferme et le dé clic est enclanché de nouveau. Le mécanisme de dé clic ne présente rien de particulier.

Il eût été intéressant de connaître les résultats économiques obtenus par ce réglage pseudo-quantitatif, qui sera considéré comme qualitatif par ceux qui n'admettent pas la formation de tranches derrière le piston.

### 18. Moteur Galloway.

La Compagnie anglaise Galloway s'est adonnée à la construction des puissants moteurs, et le modèle qu'elle a créé présente un certain nombre de particularités réellement intéressantes.

Cette machine à quatre temps se compose de deux cylindres à double effet, montés en tandem, qui reproduisent les dispositions généralement adoptées aujourd'hui, sur lesquelles nous croyons peu utile d'insister; nous nous bornerons à décrire quelques détails plus originaux (<sup>1</sup>).

Les cylindres ont à chaque extrémité les soupapes classiques d'admission et d'échappement, dont les axes verticaux sont en prolongement; elles sont commandées par une came unique, de sorte qu'il n'y a que quatre cames pour deux cylindres. La soupape d'admission est double et comprend une soupape principale et une autre spéciale pour le gaz. Cette dernière, placée sur la même tige que la première, a des attaches élastiques, qui assurent une fermeture parfaite alors même que les sièges auraient subi une usure inégale.

Le réglage est effectué par étranglement à l'admission : le mécanisme d'actionnement des valves de laminage est entièrement indépendant de la commande des soupapes, et il n'y a par suite aucun appareil à dé clic. Les valves ont la forme d'un registre à papillon; elles sont placées à l'entrée des boîtes d'admission. Les valves à gaz et à air sont solidaires l'une de l'autre, mais leur liaison est telle qu'aux faibles charges du moteur la venue du gaz est plus étranglée que celle de l'air, de sorte qu'à ce moment le réglage est devenu à la fois quantitatif et qualitatif. Les valves sont commandées par le régulateur, mais l'admission se prolonge pendant toute la durée de l'aspiration.

Pour les très puissantes machines, un servo-moteur intervient pour effectuer la régulation : il mérite d'arrêter notre attention. Les valves sont connectées avec un piston, mobile dans un cylindre rempli d'huile : de sa position dépend

1. Voir une description complète dans *le Génie civil*, 13 août 1921.



donc celle des valves. Une petite pompe, commandée par le moteur, refoule de l'huile dans la boîte de distribution du cylindre; le régulateur centrifuge, monté sur le moteur, commande l'admission et l'échappement du liquide, et fait prendre de la sorte au piston une position déterminée. Lorsque ce piston se trouve au milieu du cylindre, l'admission et l'échappement sont fermés, et le piston reste où il est. Mais supposons un accroissement de vitesse du moteur, faisant monter le manchon du régulateur : aussitôt, un jeu de leviers ouvre l'admission sur la face supérieure du piston et l'échappement sous sa face inférieure; le piston est alors obligé de descendre vers une position plus basse, à laquelle il se stabilise bientôt, parce que le tiroir de distribution referme admission et échappement. Le piston suit ainsi tous les déplacements du manchon du régulateur.

Chaque effet des cylindres moteurs est pourvu de trois tampons d'allumage, du type basse tension avec rupteur. En cas d'emballement un régulateur spécial coupe le circuit d'allumage.

L'arbre à manivelle, construit en plusieurs parties, se compose d'un maneton et de flasques en acier moulé, venus de fonderie en une seule pièce, qui est frettée à chaud sur les parties droites de l'arbre.

Les cylindres sont en deux pièces, que l'on pose à chaud sur une chemise intérieure en fonte dure spéciale.

### 19. Moteur Tangye.

La maison Tangye, dont les ateliers Cornwalls Works, de Birmingham, couvrent une surface de 15 hectares, est depuis longtemps adonnée à la construction des moteurs à gaz : elle s'essaya au début sur un ingénieux moteur Pinkney, à deux temps, qu'elle abandonna, en 1891, pour construire, comme tout le monde, des moteurs à quatre temps, à soupapes, qui pouvaient être rangés parmi les bonnes machines anglaises, simples, robustes, d'une conduite et d'un entretien facile, assez économiques pour donner satisfaction aux clients qui ne regardaient pas de trop près à la dépense. Ses ingénieurs inventèrent maints dispositifs nouveaux, qui ont contribué au succès des moteurs à gaz; je les ai décrits dans mes précédentes éditions. Je crois utile de rappeler l'un d'eux.

J'avais fait remarquer, dès 1884, que l'explosion qui suit des passages à vide est toujours atténuée et caractérisée par une combustion plus lente, due à un refroidissement du cylindre : c'était un argument en faveur de ma théorie de l'action de paroi. Les conseils de la maison Tangye ont cherché à supprimer cet effet, en augmentant la richesse du mélange introduit après deux refus d'admission; un ingénieux mécanisme interposait alors automatiquement une



butée mobile entre la tige de la soupape et l'organe qui la fait mouvoir; la course d'ouverture de cette soupape se trouvait ainsi augmentée de l'épaisseur de la butée. Les résultats de cette manière de faire ont été satisfaisants.

La maison Tangye prit aussi une remarquable initiative dans l'établissement

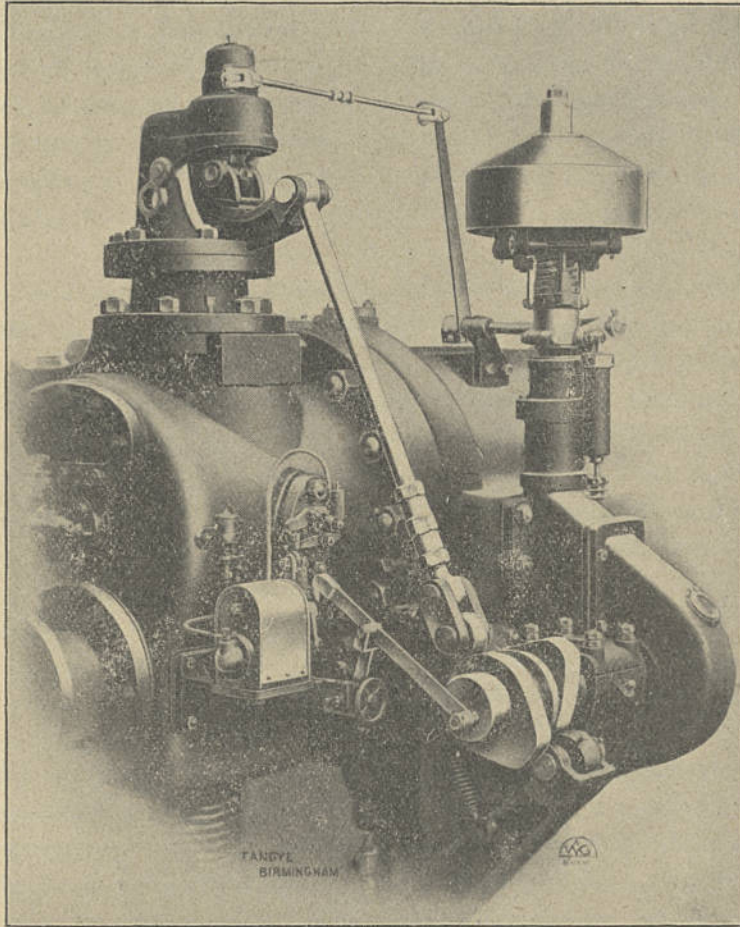


Fig. 218. — Distribution Tangye.

d'un self starter à air comprimé, dont elle créa un modèle d'une grande efficacité.

Aujourd'hui, les moteurs Tangye se sont transformés, en reproduisant les types allemands à la mode du jour. L'admission par tout ou rien n'a été conservée que pour les faibles puissances; l'admission variable est de règle à partir de 20 chevaux. Le mécanisme de réglage était d'abord caractérisé par le déplacement d'un levier faisant varier la course du point d'application de la puissance, en même temps que change la position de la résistance par rapport au point d'appui. On obtenait de la sorte, par un jeu de tringles et de leviers, la variation de la quantité admise de mélange, d'après la demande du régula-



teur. On a donné ensuite la préférence à une disposition qui limite la levée des soupapes de gaz et d'air en faisant agir le régulateur sur une vis sans fin conformément à ce qui est représenté sur les figures 218 et 219 ; cette dernière montre l'agencement des soupapes d'air et de gaz sur un même axe vertical.

La coupe de la figure 220 permet de se rendre compte de l'ensemble du moteur.

La soupape de mise en marche est située au fond de la culasse; le mouvement d'un levier et d'une came à deux bossages fait ouvrir à la fois une soupape de retenue, admettant l'air comprimé, et une autre, débouchant dans le cylindre : celle-ci est rappelée sur son siège par un ressort énergique.

Les moteurs Tangye, à admission variable, se construisent pour des puissances comprises entre 20 et 216 chevaux effectifs, faisant de 260 à 160 révolutions par minute : en accouplant deux cylindres, on réalise donc 432 chevaux. Je ne crois pas que cette puissance ait été dépassée.

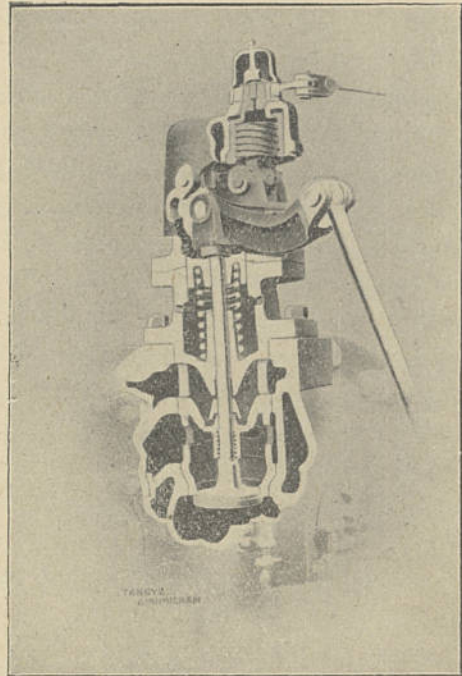


Fig. 219. — Soupapes d'admission Tangye .

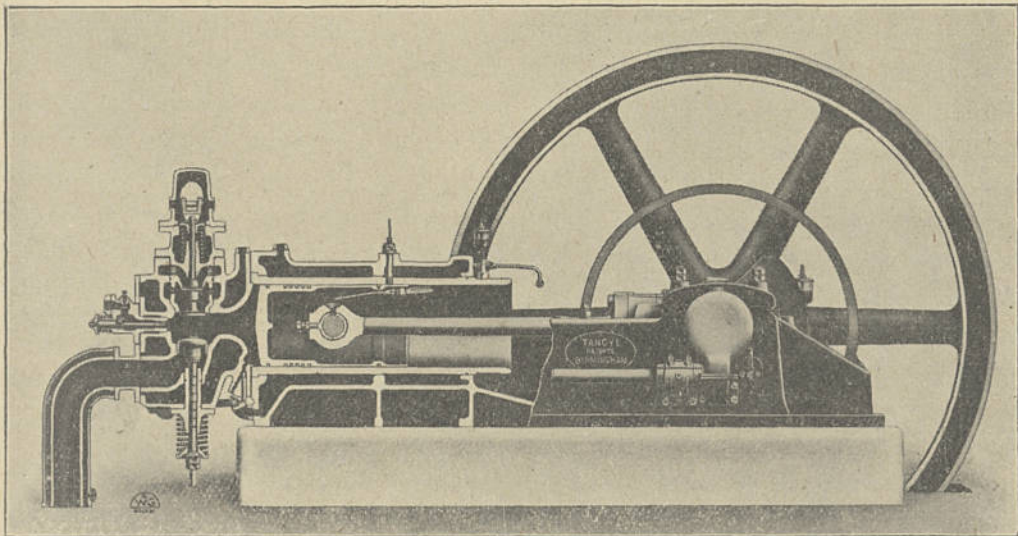


Fig 220. — Coupe du moteur Tangye.

La maison Tangye est représentée, à Paris, par MM. Paul Roux et C<sup>ie</sup>.



## 20. Moteur National.

La *National Gas Engine Co.*, dont le siège est à Ashton-under-Lyne, est une ancienne maison de construction anglaise, dont la réputation est établie sur de nombreuses années de succès : une filiale a été créée à Paris sous le nom de Compagnie française des moteurs à gaz National.

Le dernier type de ce moteur réalise la plupart des perfectionnements apportés récemment aux modèles anglais : socle massif supprimant presque entièrement le porte-à-faux du cylindre, chambres d'admission et d'échappement rapportées contre le fond, actionnement de la distribution par cames à large portée, etc. L'admission variable est obtenue par une levée plus ou moins grande de la soupape d'admission sous la dépendance du régulateur, de la manière qui suit : la came de l'arbre de distribution agit d'abord sur un petit levier ; le mouvement est transmis ensuite à un plus grand levier, attaquant directement la soupape, par l'intermédiaire d'une plaque d'interposition, suspendue à l'extrémité d'une tige verticale que le régulateur fait monter ou baisser suivant le besoin. Lorsque la vitesse augmente, cette plaque monte, et elle réduit l'amplitude du mouvement de la soupape en augmentant la distance du point de poussée au centre de rotation du grand levier. Cette plaque est entièrement libre dans ses déplacements, sauf aux moments de son intervention dans l'actionnement du grand levier par le petit.

La *National Gas Engine Co.* a aussi appliqué l'ingénieuse idée de M. Dugald Clerk, consistant à admettre dans le cylindre, sous une pression déterminée, de l'air pur ou des gaz brûlés refroidis. Cette introduction se fait en course d'aspiration. Elle doit avoir pour effet d'augmenter la pression moyenne au diagramme. Voici de quelle façon l'on procède : la face antérieure du piston est utilisée pour comprimer l'air. Au moment où ce piston achève sa course d'arrière en avant, opérant l'aspiration du mélange dans le cylindre moteur et comprimant de l'air devant lui, il découvre une lumière qui permet le transvasement de cet air de son avant à son arrière. La pression de la charge admise est ainsi portée à près d'un demi-kilogramme au-dessus de l'atmosphère et, par suite, la compression  $\pi$  augmente dans le rapport de 1,5 à 1, comme le montre la formule :

$$\frac{\pi}{H} = \left(\frac{V}{v}\right)^\gamma.$$

Mais il reste un peu d'air dans l'espace mort du compresseur : on l'utilise pour faire du balayage à la fin de l'échappement. Le procédé procure donc le double avantage d'une surcompression et d'un balayage. On dit qu'il en résulte un bénéfice sensible, ce que nous croyons sans peine : il doit y avoir amélioration du rendement et augmentation de puissance.



Un fait important est acquis : on a constaté aux diagrammes une pression moyenne de 7 kg. 75; c'est une valeur à remarquer.

Le moteur National est construit avec la perfection anglaise, qui lui assure un bon et long fonctionnement, à l'abri des surprises. Les machines d'une puissance inférieure à 77 chevaux, sont pourvues d'une pompe de compression, qui permet d'introduire dans la culasse une charge d'air carburé à l'essence; on agit à la main sur le levier de la magnéto pour provoquer l'étincelle, qui donnera lieu à l'impulsion de mise en route. Le démarrage habituel à l'air comprimé est appliqué à partir de 90 chevaux.

### 19. Moteur Gardner.

MM. Gardner and Sons, de Manchester, occupent un rang distingué parmi les établissements de leur pays, adonnés à la construction des moteurs à gaz, dont ils ont établi des types extrêmement variés.

Un de leurs premiers et plus anciens modèles est un moteur sans arbre de distribution, dans lequel deux excentriques commandent l'un l'admission et l'autre la décharge; l'arbre qui les porte est parallèle à l'arbre de couche et il fait un tour pour deux de la machine. L'excentrique d'admission attaque, par une tringle longitudinale, un levier à deux branches, dont l'une ouvre la soupape de mélange et de prise d'air tous les deux tours, tandis que l'autre n'agit sur la soupape de gaz que sous la dépendance d'un régulateur d'inertie. Ce dispositif est d'une grande simplicité et il fonctionne sûrement et sans bruit.

Voici comment agit le régulateur : le levier dont nous venons de parler porte une sorte de balancier horizontal, agissant par l'avant sur la tige de la soupape de gaz, et muni à l'arrière d'un taquet. Celui-ci rencontre dans son mouvement un plan incliné fixe, qui fait pivoter le balancier sur son axe : mais un ressort tend constamment à le ramener dans sa position horizontale. Quand le taquet perd le contact du plan incliné, le ressort rabat le balancier, mais pas assez vite en marche normale pour que l'avant manque la tige de la soupape. Si, au contraire, la machine s'emballe, le balancier n'a plus le temps d'exécuter son mouvement et il retombe sur la tige qu'il n'actionne plus. Un second excentrique commande l'échappement.

Cette machine se construit encore, mais pour les puissances supérieures à 15 chevaux, on a adopté le type courant, avec arbre de distribution longitudinal, portant les cames habituelles, judicieusement établi, mais dans lequel je ne vois rien de particulier à relever (1).

1. Semblable remarque s'applique à de nombreux types de moteurs très recommandables dont je me reprocherais de ne pas signaler tout au moins les noms, car ils jouissent d'une légitime notoriété; ce sont, entr'autres, les moteurs Dudbridge, Kynoch, Premier (Wells brothers), Britannia, Stockport, Fielding et Platt, Robey, Robson, Benz, Ehrenfeld, Soëst, Bachtold, etc., auxquels il faut joindre les marques américaines, moins connues chez nous, New Era, Foos, Engelmann, Snow, Riverside, Struther Wells and Co, etc. J'en omets, et des meilleurs, qui me le pardonneront, car il faut bien se limiter.



Signalons cependant un nouveau modèle vertical à 4 ou 6 cylindres, destiné à marcher au gaz de ville, au gaz pauvre, à l'essence, à l'alcool ou bien au pétrole lampant, dont la puissance atteint 400 chevaux, et qui convient bien à la constitution de groupes électrogènes, par accouplement direct de la génératrice.

MM. Nouvelet et Lacombe sont en France les concessionnaires des moteurs Gardner.

## 22. Moteur Westinghouse.

*The Westinghouse Machine Company*, de Pittsburg (États-Unis d'Amérique), a voulu joindre la construction du moteur à gaz à celle de la machine à vapeur, d'un type spécial, dans laquelle elle excelle; après de longs tâtonnements et de laborieuses études, elle a adopté un modèle à trois cylindres verticaux, qui,

apparu en 1896, a fait rapidement son chemin et jouit aujourd'hui encore d'une certaine renommée (1).

Il est représenté sur la figure 221, qui le montre en coupe; son aspect extérieur ressemble beaucoup à celui de la machine à vapeur de la même construction. La manivelle se meut dans un carter fermé; les soupapes sont réunies à la partie supérieure de la machine, sur la culasse du cylindre; le régulateur, placé sur le côté, commande une valve de réglage par arbre et levier. C'est dans la chambre M que se prépare le mélange tonnant, qui va au cylindre par le canal N et la soupape J; E est la soupape de décharge, et O le

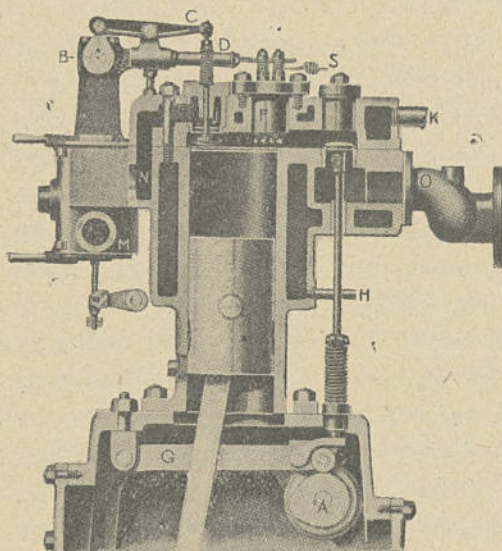


Fig. 221. — Moteur Westinghouse.

tuyau d'échappement des gaz brûlés. L'air et le gaz sont introduits dans la chambre M, à travers des valves de dosage qui permettent de donner au mélange la richesse nécessaire au bon fonctionnement du moteur; cela fait, la teneur en gaz reste invariable et le régulateur n'intervient que dans le réglage de la quantité de mélange admise.

Lorsque ses boules s'écartent, elles agissent sur une valve régulatrice, qui augmente ou diminue le volume du mélange envoyé au cylindre. On est guidé par la position du régulateur pour la préparation du mélange qui convient le

1. Une succursale a été créée à Londres sous le nom de *The British Westinghouse Electric and Manufacturing Co Limited*.



mieux; en effet, s'il y a, par exemple, excès d'air, on le verra par la quantité de mélange demandée par le régulateur pour maintenir la vitesse de régime.

L'allumage est électrique; l'étincelle est fournie par une bobine d'induction, alimentée elle-même par deux petites dynamos à 10 volts. Un levier D opère l'ouverture du circuit (1).

La came B remplit la fonction de gouverner l'admission et l'allumage; la came A fait manœuvrer la soupape de décharge; le dessin de la figure 221 suffit à l'intelligence de ces mécanismes, qui sont simples. La came A et son mécanisme sont enfermés dans le carter, ce qui empêche peut-être de les surveiller comme il conviendrait. L'arbre de distribution des soupapes d'admission et celui de la décharge reçoivent le mouvement d'un arbre vertical par l'intermédiaire de roues d'angle.

L'ensemble de cette machine est bien étudié et la construction des divers organes a été l'objet des plus grands soins dans leurs moindres détails.

On a critiqué, avec quelque raison, la forme générale du cylindre : en effet, la culasse qui porte les soupapes doit être démontée entièrement quand on veut examiner le piston et nettoyer le cylindre, et cette opération impose chaque fois la réfection d'un joint important, qui demande à être parfaitement soigné.

Les paliers présentent une particularité que nous devons faire ressortir; leurs coussinets sont réglables par coins et vis, de manière à ce qu'on puisse incessamment corriger et compenser leur usure. De la sorte, la distance entre la partie supérieure du piston et le fond de la culasse peut être maintenue constante et la compression ne change pas. D'autre part, la tête de bielle supérieure est pourvue d'une clavette de réglage qui corrige aussi l'usure de son coussinet. Ces opérations de réglage du palier ne peuvent être faites qu'en arrêt de machine, puisque les vis ne sont abordables que par l'intérieur du carter.

La mise en route s'effectue en se servant d'un des cylindres comme moteur à air; on dispose à cet effet d'un récipient renfermant de l'air comprimé à 18 kilogrammes.

La Compagnie Westinghouse construit des modèles de 50, 100, 200 et 300 chevaux effectifs; en multipliant les cylindres, elle a atteint des puissances beaucoup plus considérables.

Les vitesses sont généralement assez grandes; les petites puissances vont jusqu'à 350 tours par minute.

La régularité moyenne et cyclique des moteurs Westinghouse est remarquable; des alternateurs, connectés directement sur l'arbre, peuvent être mis en parallèle sans difficulté; ils s'appliquent très aisément à la commande directe d'alternateurs triphasés à 50 périodes avec excitatrice en bout d'arbre.

1. Un commutateur intervertit le sens du courant à chaque remise en marche : on a cru observer que ces changements périodiques assurent un meilleur allumage en même temps qu'ils augmentent la durée des bougies.



Les meilleurs résultats semblent avoir été obtenus par un nouveau type vertical tandem, qui mérite aussi d'arrêter notre attention. Deux cylindres sont montés l'un au-dessus de l'autre, attaquant par la tige commune de leurs pistons une manivelle unique : chaque cylindre effectue son cycle indépendamment de l'autre. Les deux pistons inférieur et supérieur sont assemblés au moyen d'un manchon en fonte. Le presse-étoupe compris entre les cylindres superposés, est une pièce délicate de la construction ; il est constitué par une longue garniture, munie de bagues Ramsbottom. Quand on retire les pistons par le haut de la machine, pour en faire la visite, cette garniture vient avec la tige qui la traverse.

Le réglage est quantitatif, le dosage du mélange restant le même ; mais on a le moyen de le composer au mieux, suivant la qualité du gaz.

La puissance par cylindre ne dépasse pas 125 chevaux ; ainsi le type de 1.000 chevaux est à 8 cylindres. Dans un 6 cylindres, les 3 manivelles sont calées à 120°.

Ce type de moteurs possède une régularité cyclique remarquable, obtenue sans exagération de vitesse. Un moteur de 500 kilowatts se compose de 6 cylindres de 533 millimètres et 0 m. 710 de course ; il fait 200 tours par minute. L'encombrement sur le plan horizontal est très minime.

La Société Westinghouse a aussi créé un type horizontal, à quatre temps, double effet, avec deux cylindres en tandem. On y retrouve le dispositif de Delamare-Deboutteville et Malandin, nous voulons parler de l'emploi d'un bâti en baïonnette à un seul palier avec manivelle en porte-à-faux, analogue au bâti de la machine à vapeur Corliss : on y revient aujourd'hui, après avoir constaté que le bâti à fourche à deux paliers ne s'impose pas au moteur à gaz comme on le croyait généralement.

Les cylindres sont portés uniquement par les boulons qui assemblent les fonds au bâti ; leur paroi est considérablement renforcée, attendu qu'elle a à transmettre la totalité des efforts exercés suivant l'axe du moteur. Les pistons sont en fonte, coulés d'une pièce, sans nervures intérieures ; les trous des noyaux débouchent sur le trou central de la tige et c'est par là qu'on est obligé de les retirer ; ces ouvertures sont utilisées pour la circulation de l'eau.

Un excentrique unique commande les soupapes d'admission et d'échappement, placées l'une au-dessus de l'autre sur un même axe vertical. Le réglage est encore quantitatif. Un levier basculant donne à la soupape d'admission une levée qui est toujours la même, en hauteur et en durée : le régulateur agit sur un tiroir cylindrique mobile qui découvre plus ou moins, mais en proportion invariable, les orifices d'accès de l'air et du gaz.

Ces moteurs possèdent un dispositif de sûreté original. Une broche à tête est logée dans un trou de la jante du volant et elle y est maintenue par un ressort : en cas d'emballement de la machine, cette broche fait saillie, par l'effet de la force centrifuge, et elle heurte un décliv qui coupe le circuit d'allumage.



Je trouve dans un prospectus Westinghouse une indication intéressante, relativement à l'influence exercée sur la puissance des moteurs par les variations de pression et de température de l'air ambiant; ce sont des résultats d'expérience et non de calcul, ils prennent à cet égard une importance particulière.

*Influence de la pression.*

| Pression.            | Pourcentage de puissance. |
|----------------------|---------------------------|
| —                    | —                         |
| 760 millimètres..... | 100                       |
| 734 — .....          | 96                        |
| 705 — .....          | 93                        |
| 679 — .....          | 88,5                      |
| 652 — .....          | 85,6                      |

*Influence de la température.*

| Température. | Pourcentage de puissance. |
|--------------|---------------------------|
| —            | —                         |
| 15°,6.....   | 100                       |
| 21°,1.....   | 98,1                      |
| 26°,7.....   | 96,3                      |
| 32°,2.....   | 94,6                      |
| 37°,3.....   | 92,8                      |
| 43°,3.....   | 91,0                      |

Ces variations de puissance sont plus considérables que d'aucuns ne le pensent.

La Société Westinghouse possède d'importantes usines en France, au Havre et à Sevran (Seine-et-Oise), où elle construit ses moteurs.

**23. Moteur Bollinckx.**

M. Bollinckx, à l'exemple de nombreux mécaniciens, qui s'étaient fait un nom dans la construction des machines à vapeur, a reconnu l'importance croissante prise par les moteurs à gaz, et il a adjoint à ses ateliers de Bruxelles une section spéciale, entièrement consacrée à l'établissement de moteurs à gaz de ville et à gaz pauvre; sa nouvelle usine a été édiflée à Buysinghen, à quelques kilomètres de la capitale belge.

Le succès n'a pas tardé à couronner son intelligente initiative.

M. Bollinckx s'est inspiré des dernières idées, qui ont prévalu, pour dessiner un modèle du meilleur style.

Le bâti est du modèle courant aujourd'hui; il forme l'enveloppe du cylindre; la chemise et la culasse sont rapportées, cette dernière étant fixée par des boulons noyés dans l'eau de l'enveloppe. Les précautions les plus minutieuses sont prises pour permettre les dilatations des pièces de fonte exposées à se rompre.



Le réglage est quantitatif : l'admission d'une quantité variable de mélange (de qualité constante) s'obtient par une variation de la levée de la vanne double, livrant passage au gaz et à l'air.

Cette **augmentation** ou diminution de la course de la soupape d'admission

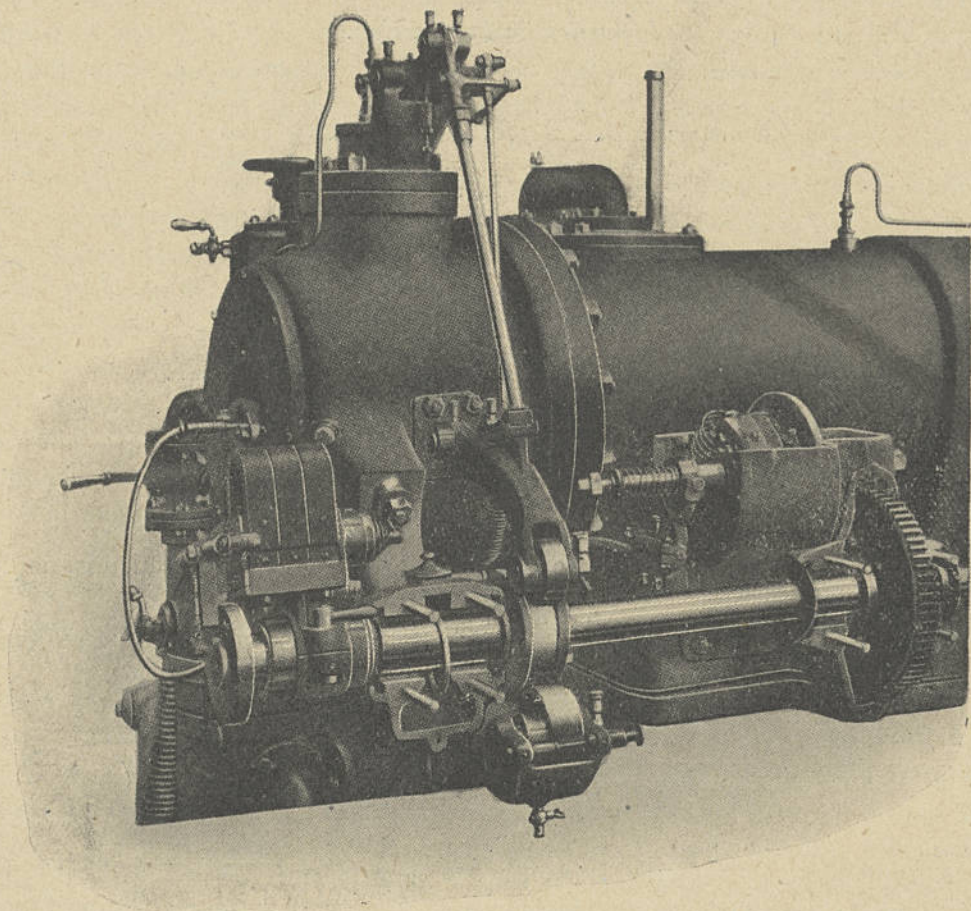


Fig. 222. — Distribution Bollinckx.

s'obtient par un changement d'amplitude du mouvement du bras de levier. Lorsque la charge diminue, le régulateur, augmentant de vitesse, pousse un couteau à plan incliné sous un galet, formant contrepoids de la bielle commandant la soupape d'admission. Le point de contact du pied de cette bielle se rapproche de la culasse, c'est-à-dire du point d'articulation du levier de commande, et ainsi la course de la soupape diminue. Dans cette position de la bielle de commande, c'est-à-dire la plus rapprochée de la culasse, il n'entre plus dans les cylindres qu'une quantité de mélange suffisante pour vaincre le travail de frottement du moteur tournant à vide. Dans la position contraire de la bielle de commande, c'est-à-dire lorsque celle-ci est la plus éloignée de la culasse,



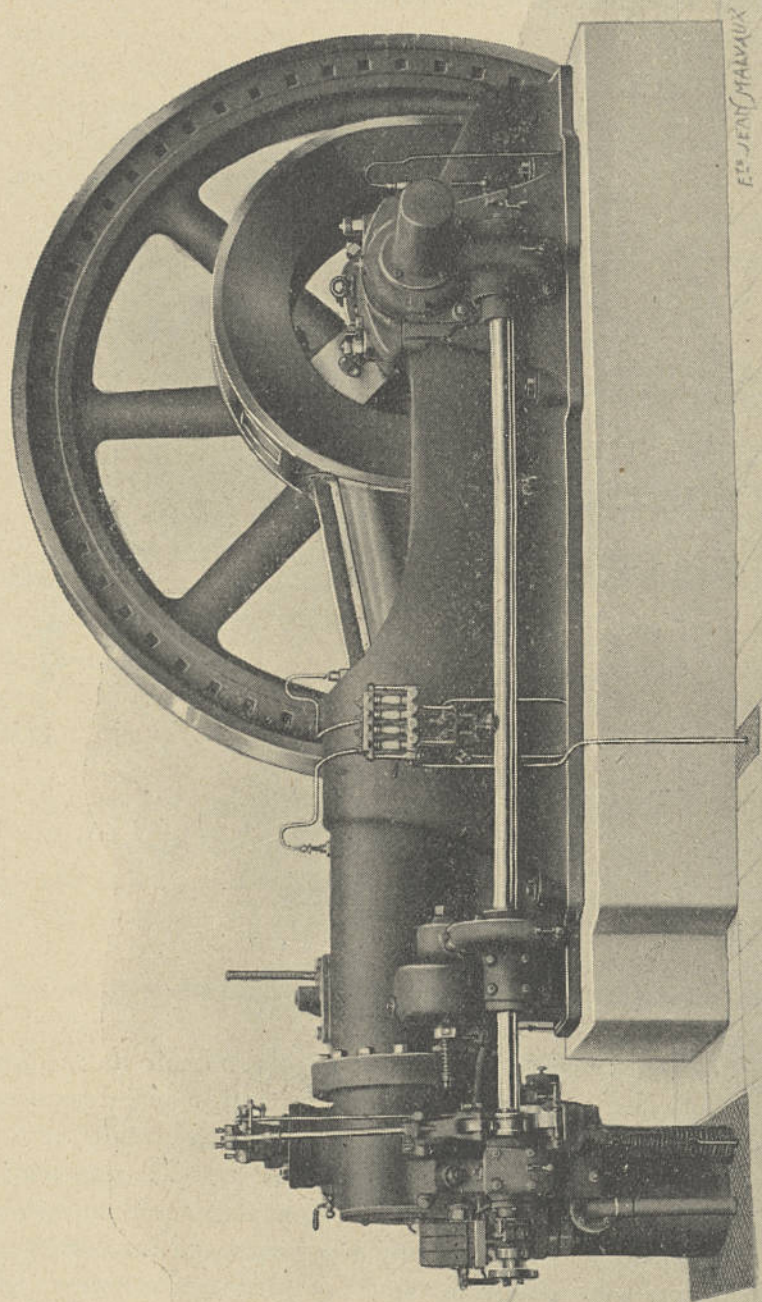


Fig. 223. — Moteur Bollinckx.



la soupape atteint sa course maximum en admettant, par conséquent, le maximum de mélange gazeux. Le régulateur, n'ayant d'autre mission que de déplacer un couteau très léger, est excessivement sensible et ne subit aucune réaction. C'est le mécanisme connu sous le nom générique de dispositif à levier

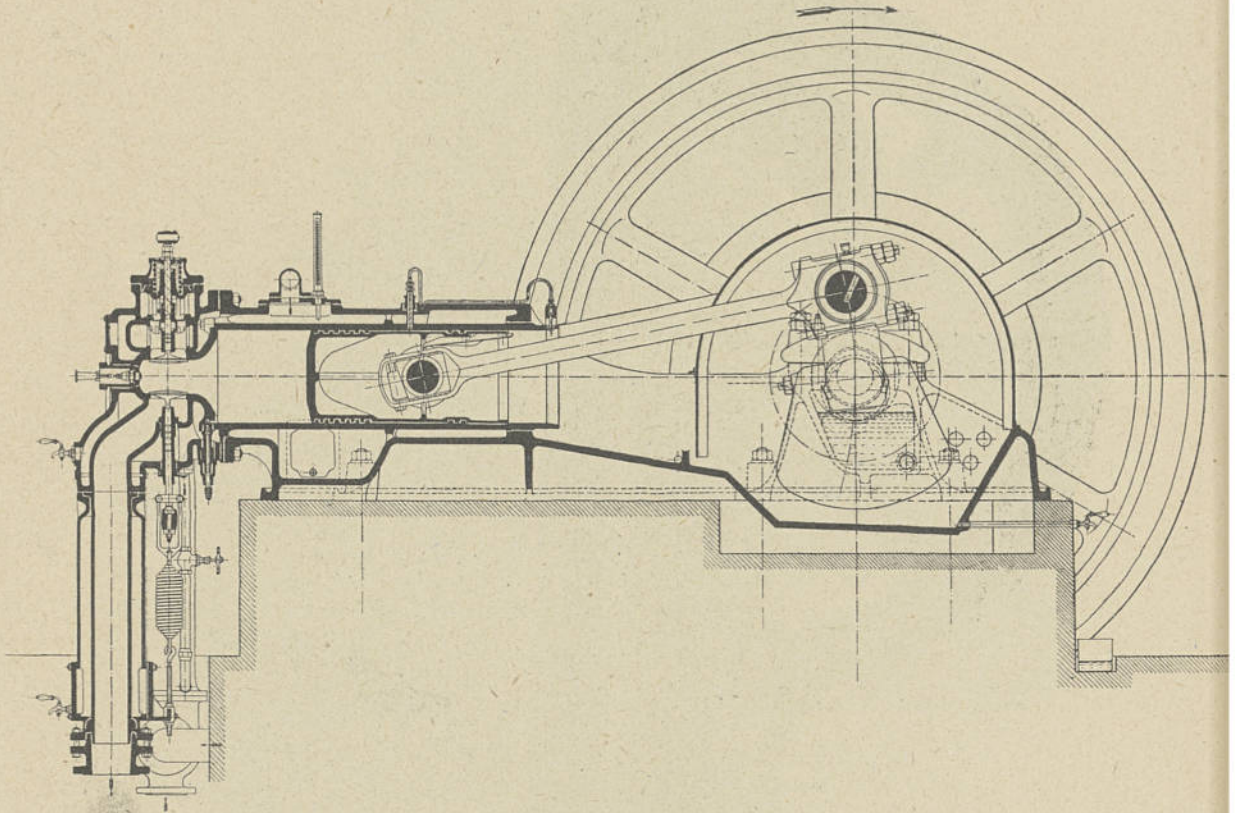


Fig. 224. — Coupe du moteur Bollinckx.

unique avec déplacement du point d'appui. On en voit l'agencement sur la figure 222.

Mais ces dispositions ont encore été modifiées pour obtenir de meilleurs résultats. Le régulateur, qui était autrefois à axe vertical, a maintenant son axe horizontal : notre dessin le montre sur le côté du cylindre, renfermé dans un carter étanche, rempli d'huile. Il tourne à grande vitesse et présente un pignon d'entraînement à moyeu élastique. Il est, en outre, muni d'une balance à ressort, qui permet de faire varier en marche la vitesse du moteur. De ce régulateur part la tringle d'admission, commandée par deux petits leviers ; cette tringle fait déplacer le levier d'admission, le long du secteur déterminant la levée variable de la soupape d'admission.

La vue longitudinale de la figure 223 complétera les indications que la



figure précédente ne permettrait pas de saisir avec précision : nous y adjoignons la figure 224, qui montre le cylindre en coupe.

Le prospectus de la Société anonyme des nouvelles usines Bollinckx ne se targue pas de modestie et il déclare sans ambages que son moteur est « actuellement le plus parfait qui existe » : nous nous garderons d'y contredire, tout en regrettant cette exagération de réclame dont les ateliers de Buysinghen n'auraient aucunement besoin.

On revendique pour le moteur la très longue course de son piston, sa vitesse modérée et sa puissance largement calculée.

Pour permettre une forte compression, tous les organes de la culasse sont refroidis par une chambre d'eau de grande capacité; on réussit ainsi à comprimer à 13 kilogrammes, dans des moteurs à gaz pauvres, en réalisant une pression explosive de 30 kilogrammes.

Des essais, effectués à Bruxelles, en 1909, par M. C. François, ont établi des chiffres intéressants, que nous croyons devoir reproduire. Ils ont été relevés sur une machine de 50 chevaux, présentant les caractéristiques ci-dessous.

Diamètre du cylindre : 350 millimètres.

Course du piston : 0 m. 650.

Vitesse de régime : 190 tours par minute.

Combustible : braisettes anthraciteuses, criblage 8/12.

Charbonnage du bois communal de Fleurus.

Matières volatiles : 4,67 %.

Cendres : 9,06 %.

Humidité : 1, 21 %.

Pouvoir calorifique : 7.605 calories.

Consommation par cheval-heure effectif : 386 grammes.

Le pouvoir calorifique du gaz fut trouvé égal à 1.235 calories.

Aux essais de régularité on constata une vitesse à vide de 196 tours, alors qu'elle était de 190 tours en charge de 50,6 chevaux, et de 186 en surcharge de 62,7 chevaux. Le coefficient d'irrégularité ressortit à 0,0316.

### Moteur Catteau.

M. J. B. Catteau, de Roubaix, s'est proposé de corriger les imperfections des moteurs du genre Charon, auxquels on reproche de réduire la compression au fur et à mesure que la charge diminue. Il a donc imaginé un dispositif qui maintient la compression constante pour n'importe quelle charge : il suffit pour cela de soustraire à l'action du régulateur la soupape, par laquelle une partie du mélange s'échappe du cylindre pour se réfugier dans un serpentín de remisage, et d'ouvrir toujours cette soupape au même point de la course de retour du piston; dans ces conditions, tout se passe comme si la course de



compression était moins longue que la course de détente, et la détente des gaz brûlés est considérablement et invariablement allongée. Mais comment agira dès lors le régulateur? Il ne modifie pas la composition du mélange; mais il supprime entièrement l'admission de ce mélange, aussitôt que cela devient nécessaire, en n'ouvrant pas la valve à gaz et en tenant ouverte celle d'échappement. Cette dernière est maintenue levée par un organe d'enclenchement actionné par le levier même de commande; le dégageant est opéré au moment où ce levier devrait le soulever pour effectuer la décharge normale des gaz brûlés.

Après quelques tâtonnements, M. Catteau s'est arrêté à l'emploi d'une came unique, chargée entièrement de la fonction de distribution : elle commande les trois soupapes *s* à gaz, *S* à mélange et d'échappement *s'*. Les valves *s* et *S* sont soulevées d'abord, et fermées au temps de compression; mais la soupape de mélange est retombée avec un certain retard, qui a pour effet de remiser les gaz tonnants dans un tuyau, remplissant l'office d'un réservoir.

L'intervention du régulateur s'opère, ainsi que nous l'avons dit, en maintenant ouverte la sortie des gaz de la décharge et en cessant d'agir sur les deux soupapes d'admission. Cet effet est obtenu à l'aide d'une sorte de verrou, coulissant dans une forte douille, qui est déplacé par une tringle reliée au régulateur; ce verrou porte à l'avant un bec, qui vient s'engager dans une encoche pratiquée dans le bras *og* du grand levier. Pour une vitesse déterminée, la rencontre du bec et de l'encoche se produit et le levier cesse de remplir son office sur les soupapes : la soupape d'échappement est donc accrochée et ne se referme plus, tant que le réglage de la machine le requiert.

La came d'allumage électrique est calée sur l'arbre de distribution; mais M. Catteau a aussi prévu l'emploi d'un tube incandescent, de sorte que ce moteur peut utiliser l'une ou l'autre de ces mises de feu.

La nouveauté de l'invention de M. Catteau a été reconnue par le brevet allemand n° 132.979, du 11 septembre 1900 : son efficacité a été constatée par moi lors des essais que j'ai effectués sur cette intéressante machine, les 9 et 28 février 1903; un moteur de 17 chevaux a donné le cheval-heure effectif par 368 litres de gaz de Roubaix ayant un pouvoir supérieur de 5.784 calories; à demi-charge, la consommation n'était encore que de 461 litres de gaz à 5.423 calories. A noter, que la compression atteignait 13 kilogrammes et que le rendement organique fut trouvé égal à 0,83.

Le remisage permet de maintenir la compression à peu près constante : il opère tant que le moteur est appelé à développer une puissance qui n'est pas trop éloignée de sa puissance normale : l'admission diminuant sous l'action du régulateur, ce remisage diminue parallèlement, de manière à maintenir une même compression. Pour des puissances inférieures, la compression décroîtrait; mais alors le régulateur supprime entièrement l'arrivée du gaz combustible, et il n'entre plus que de l'air dans le cylindre; on évite ainsi les ratés d'allumage qui peuvent se produire dans un mélange insuffisamment comprimé.



D'autre part, une innovation a été apportée aux organes d'allumage, commandant la magnéto : le déplacement de l'induit est amplifié tout en maintenant assez faible la course du rupteur : on se flatte d'obtenir de la sorte des étincelles plus chaudes et de supprimer tout tirage du ressort sur l'axe de la magnéto; on diminue l'usure de cet axe et l'on réalise des mouvements doux et silencieux.

### Moteur Benz.

La maison Benz, de Manheim, est adonnée à la construction des moteurs à gaz depuis l'année 1881, et elle avait établi un moteur à deux temps qui eut son heure de succès : il appartient à l'histoire. Le modèle Benz actuel est un bel exemplaire du type allemand qui tend à prévaloir aujourd'hui : il est à quatre temps, réglé par admission d'une quantité variable d'un mélange à teneur constante, au moyen d'un papillon mis sous la dépendance du régulateur.

Pour savoir ce qu'est ce moteur, il suffit de lire dans le prospectus-réclame de la maison ce qu'un bon moteur ne doit pas être.

N'achetez jamais, y est-il dit :

*Un moteur* qui n'ait pas une chemise de cylindre rapportée.

- ayant son cylindre en porte-à-faux.
- ayant ses soupapes horizontales.
- dont la poulie soit en porte-à-faux.
- dont le vilebrequin ne soit pas équilibré.
- dont les paliers ne soient pas munis de bagues de graissage.
- dont les cames soient en fonte.

Nous avons cru intéressant de reproduire ce *memento* des acheteurs de moteurs : il résume les idées du jour.

M. Piat et ses fils ont acquis, en France, la concession des moteurs Benz qu'ils construisent dans d'excellentes conditions.

### Moteur Mees <sup>(1)</sup>.

M. Mees a voulu combiner le réglage qualitatif avec le réglage quantitatif, dans le but de bénéficier des avantages des deux systèmes, qui paraissent exclusifs les uns des autres. A cet effet, l'admission est faite par une soupape munie d'un piston-doseur, qui découvre des ouvertures pour l'air et le gaz, pratiquées dans un siège cylindrique; ce doseur est sous la dépendance du régulateur. La teneur du mélange est donc modifiée suivant le besoin du moteur;

1. *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, n° 24, 1905, et *l'Eclairage électrique*, 25 nov. 1905.



mais, de plus, le volume admis varie aussi par le régulateur, qui actionne un disque obturateur étranglant plus ou moins le passage du mélange.

Un moteur de 21,5 chevaux, tournant à 222 tours par minute, a consommé 408 grammes d'antracite par cheval-heure effectif et 333 grammes par cheval-heure indiqué : ce résultat est bon, mais nullement extraordinaire, car on l'a réalisé souvent par des moteurs réglés d'une façon ou de l'autre. L'avantage obtenu par le système mixte de M. Mees est donc discutable : mais nous ne voulons diminuer en rien le mérite de l'inventeur de ce système original.

### Moteur Japy.

La maison Japy était mieux que toute autre en mesure de construire le petit moteur : elle a créé d'abord un type, que l'on pouvait alimenter à volonté de gaz de ville ou de gaz pauvre, d'air carburé par l'essence, le benzol ou l'alcool.

Quand on marche à l'alcool, on complète sa gazéification en le faisant passer dans un réchauffeur, enveloppé par les produits de la décharge, ou quelquefois par l'eau chaude de la circulation du cylindre.

Lorsque ce moteur est destiné uniquement à recevoir du gaz, la forme de sa culasse subit une modification. Le gaz et l'air se heurtent dans une chambre de diffusion, garnie de chicanes, et ils se mélangent intimement avant d'atteindre la soupape de mélange, qui est automatique comme celle du gaz.

Dans tous ces moteurs, le canal d'arrivée de l'air secondaire a une section réglable à volonté, soit par un papillon, soit par une vis, implantée normalement à la paroi qui rétrécit plus ou moins le passage : on agit ainsi dans de bonnes conditions sur la composition du mélange.

Le prospectus fait observer qu'avec le benzol la puissance est plus grande qu'avec l'essence; elle est légèrement diminuée quand on alimente au gaz de ville.

La soupape d'admission est automatique : le réglage se fait par tout ou rien.

Les moteurs de 1 à 20 chevaux sont verticaux; leur vitesse angulaire est grande, de l'ordre de 400 à 500 révolutions par minute; mais la maison Japy construit aussi des moteurs horizontaux, plus lourds, à marche relativement lente, de 240 tours.

Toutes ces machines sont caractérisées par une construction soignée et robuste : toutes les pièces sont interchangeables.

Les moteurs Japy ont été classés premiers au concours de consommation de Montpellier de 1912.



### Moteur Brouhot.

MM. Brouhot et C<sup>ie</sup>, constructeurs à Vierzon, se sont fait aussi une spécialité de moteurs robustes, économiques, bon marché, marchant à volonté au gaz de ville, à l'essence de pétrole et de schiste ou à l'alcool : les succès qu'ils ont remportés au concours de l'alcool, ont mis en relief le mérite de leurs machines.

Le régulateur agit d'ordinaire sur la vitesse en étranglant le conduit d'arrivée d'air à la soupape d'aspiration automatique. Dans d'autres modèles, c'est la soupape d'échappement qui est placée sous la dépendance du régulateur, restant ouverte lorsque la vitesse du moteur dépasse celle de régime.

Quand les moteurs sont alimentés d'alcool, le levier de la soupape d'échappement est solidaire d'une tige qui actionne le piston d'un doseur chargé d'envoyer en temps voulu une quantité déterminée de liquide au carburateur. Il se compose d'un conduit hélicoïdal, dont l'axe vertical est parcouru et chauffé par les gaz de la décharge; l'alcool coule de haut en bas sur l'hélice, s'échappe et se vaporise; ses vapeurs sont entraînées au cylindre par l'air circulant en sens inverse.

MM. Brouhot attachent, avec raison, une importance très grande à la composition d'un mélange parfait et homogène du combustible dans l'air comburant : à cet effet, leurs moteurs portent souvent un robinet spécial breveté, qui opère automatiquement la diffusion de l'un dans l'autre avant qu'il ne pénètre dans la chambre de compression.

Un moteur Brouhot de 240 millimètres de diamètre, 0 m. 400 de course, faisant 181 tours par minute a donné 16 chevaux au concours de l'alcool de 1900 en consommant 382 grammes d'alcool carburé à 50 %; cette dépense remarquablement réduite a valu à M. Brouhot une médaille d'or.

### Moteur Delaunay-Belleville.

Une clientèle de châteaux, de villas et de maisons particulières s'est créée pour les petits groupes électrogènes, constitués par un moteur à essence directement accouplé à une génératrice : les moteurs Gardner, Japy et Brouhot, étudiés ci-dessus, conviennent très bien à ce service, ainsi que le moteur que nous allons décrire. Il peut, lui aussi, marcher à l'essence ou bien au gaz de ville.

Il est caractérisé par un désaxement du cylindre par rapport au centre de rotation, d'où résulte une notable diminution de la pression transversale, qui appuie le piston contre la paroi du cylindre.

Les figures 225 et 226 permettent de se rendre compte des dispositions



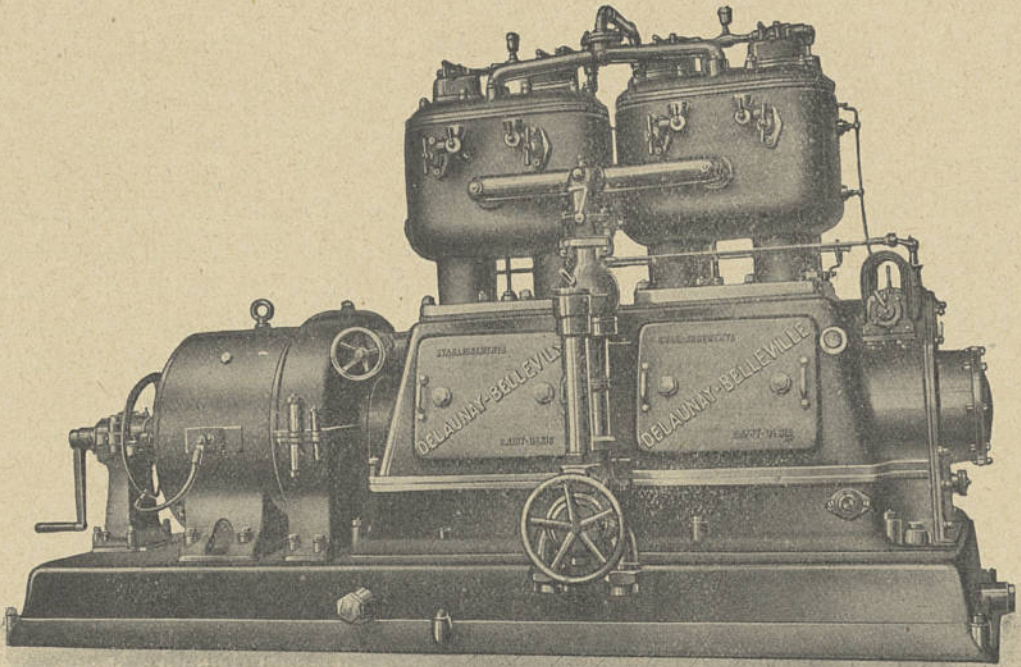


Fig. 225. — Moteur Delaunay-Belleville.

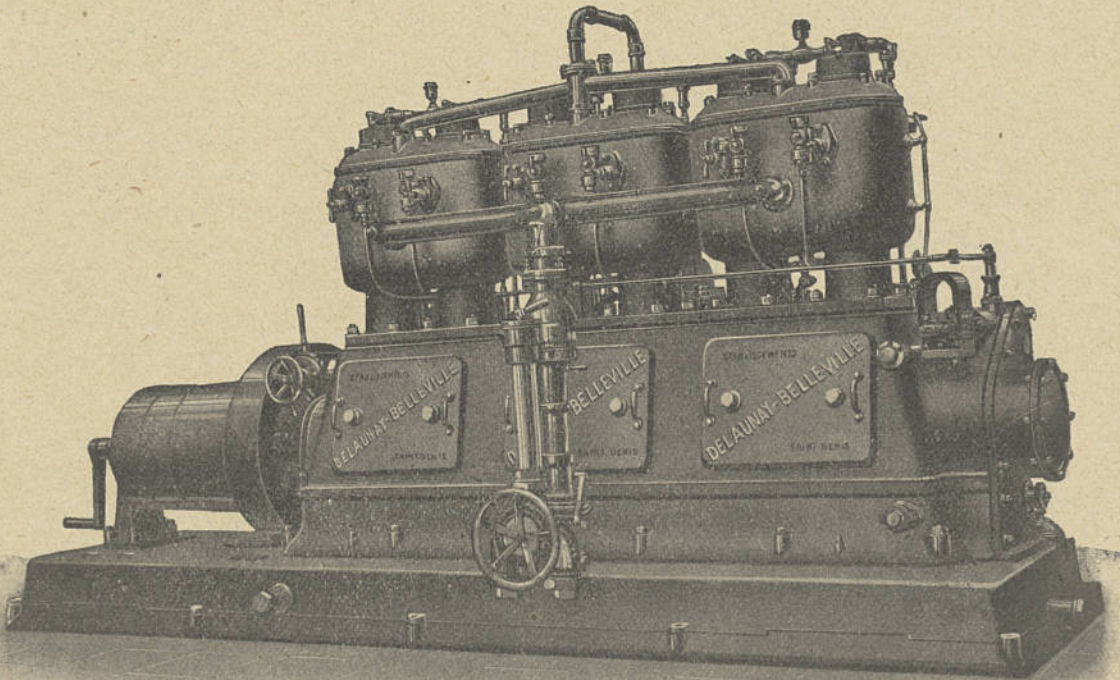


Fig. 226. — Moteur Delaunay-Belleville à six cylindres.



de cette machine. On peut accoupler deux, trois ou quatre cylindres : on a même fait des six cylindres.

Le refroidissement des cylindres est assuré par une circulation d'eau courante ou bien par réservoir et thermosiphon. L'eau froide circule d'abord dans un radiateur à ailettes, immergé dans l'huile de graissage, dont la température est ainsi maintenue assez basse, malgré que tous les organes soient lubrifiés sous pression. L'eau passe ensuite autour de la tubulure d'échappement, puis dans l'enveloppe du cylindre. La disposition de la culasse et des sièges des soupapes permet une réfrigération efficace. Le pot d'échappement lui-même est quelquefois à garniture d'eau.

Un robinet spécial permet de substituer instantanément le gaz de ville à l'air carburé : c'est très avantageux et réellement pratique ; toutefois il convient de faire remarquer que le degré de compression adopté est alors un peu faible pour une marche au gaz.

### Moteur Bourdreaux-Verdet.

Voici quel est le but que se sont proposé les créateurs de cette intéressante machine : « Conserver les avantages des moteurs à quatre cylindres, en diminuant leur prix de revient de 40 %, réduisant l'encombrement de 50 %, et le poids de 25 %, et cela en réalisant une économie sur la consommation de 10 à 30 %. »

Ce but a été réalisé par la construction de moteurs duplex et quadruplex, horizontaux et verticaux : on a adopté à cet effet des cylindres à diamètres étagés dans lesquels se meut un piston différentiel.

La figure 227 permet de se rendre compte des principales dispositions de ces machines. Le piston différentiel se voit en coupe, ainsi que la manivelle du vilebrequin ; *c* est l'arbre transversal de distribution à demi-vitesse, entraîné par les roues hélicoïdales *e* et *f*. Cet arbre porte des cames qui font mouvoir, en appuyant

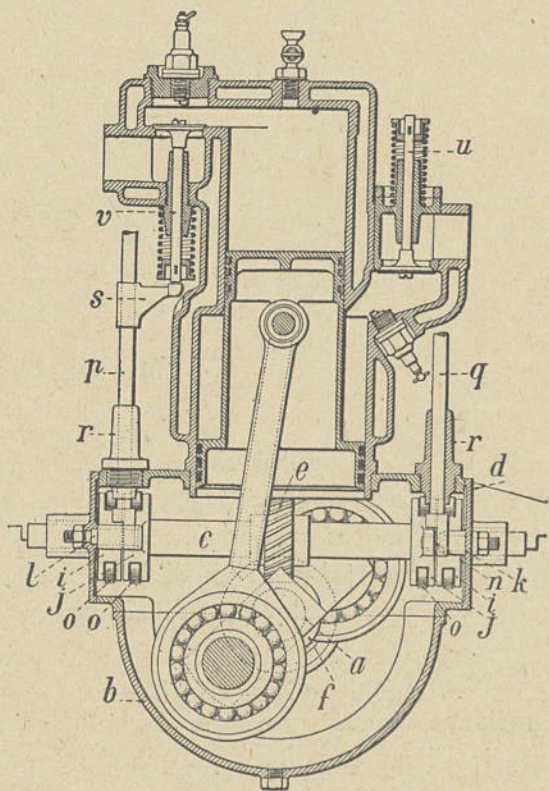


Fig. 227. — Moteur Bourdreaux-Verdet.



sur les galets *o*, les tiges *p* et *q* de commande des soupapes d'admission et de décharge; ces cames ont une double fonction, attendu que chacune d'elles fait mouvoir en tirant et en poussant une soupape d'admission et une d'échappement. La coupe que nous donnons ne fait voir qu'une seule de ces soupapes.

Le petit et le grand piston correspondent à des cylindrées égales; chacun d'eux constitue avec son cylindre un moteur séparé; leurs phases étant décalées de 180°, les explosions se suivent comme celles d'un moteur à deux cylindres. Le cylindre annulaire est complété par une disposition brevetée de chambres d'explosion extérieures, pourvues de leur inflammateur. Ces chambres ont été dessinées de manière à rendre minimum le rapport  $\frac{S}{V}$  de la surface de leurs parois à leur volume; les inventeurs les appellent des *chambres-blocs*, et ils estiment que le rendement du moteur annulaire est supérieur à l'autre : nous souscrivons à cette manière de voir, qui repose sur la théorie de l'action de paroi.

Ces dispositions présentent une originalité indiscutable et elles témoignent d'une grande ingéniosité. On remarquera que les tiges des soupapes oscillent au-dessus et au-dessous de leur position moyenne par l'effet d'une came unique; la position respective des soupapes des cylindres supérieur et inférieur, disposées en sens inverse et dans des plans différents, a même permis de les commander deux par deux, par une seule tige.

Des essais ont démontré que la consommation d'un moteur de 10 chevaux (7.200 watts) ne dépasse pas 300 grammes d'essence par cheval-heure effectif.

### Moteur Forest.

M. Forest, qui a été un protagoniste des moteurs à gaz, dont un des premiers brevets remonte à 1883, a encore fait breveter, en 1891, une machine à quatre cylindres verticaux, avec compression et détente variables, qui présentait une certaine originalité : elle a contribué au développement des moteurs polycylindriques, dont le magnifique essor a marqué les dernières années.

Au lieu de remiser dans un serpentin, à l'instar de ce que pratiquait Charon, le mélange tonnant refusé par un cylindre, M. Forest le passe à un second, puis à un troisième et enfin à un quatrième cylindre. Il suffit pour cela de mettre en communication toutes les soupapes d'admission des quatre cylindres, avec une conduite commune, alimentée de mélange tonnant : le mélange se transvase par cet intermédiaire de cylindre en cylindre.



Les quatre cylindres 1, 2, 3 et 4 sont en phases alternantes : ainsi, nous avons les combinaisons de cycles suivantes :

| CYLINDRES                  | 1            | 2            | 3            | 4            |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 <sup>er</sup> temps..... | Aspiration.  | Décharge.    | Compression. | Explosion.   |
| 2 <sup>e</sup> — .....     | Compression. | Aspiration.  | Explosion.   | Décharge.    |
| 3 <sup>e</sup> — .....     | Explosion.   | Compression. | Décharge.    | Aspiration.  |
| 4 <sup>e</sup> — .....     | Décharge.    | Explosion.   | Aspiration.  | Compression. |

La figure 228 présente la simultanéité des phases au second temps.

On voit que le premier cylindre ne retient, pour les comprimer, que les  $\frac{4}{20}$

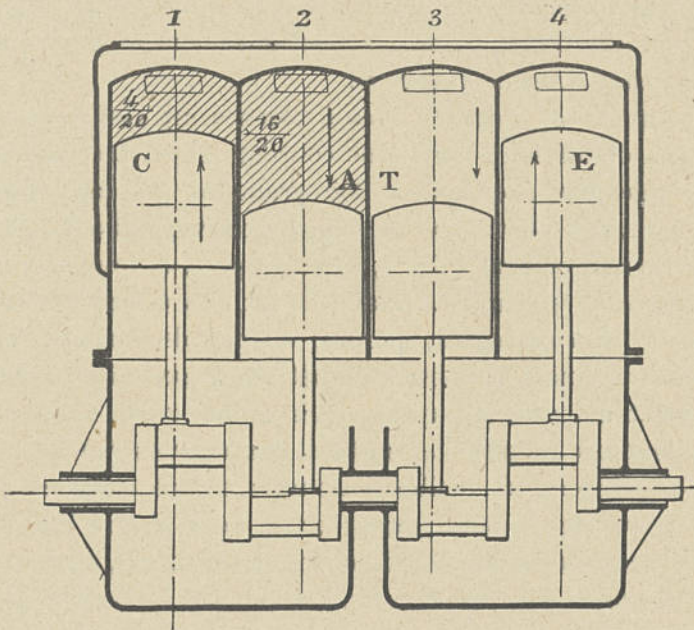


Fig. 228. — Schéma des cylindres Forest.

d'une cylindrée, le second cylindre en ayant aspiré le reste, qui lui a été passé directement. Le cylindre 3 est en travail, le cylindre 4 expulse les gaz brûlés.

Ce transvasement s'opère par un arbre à cames inclinées, mis sous la dépendance du régulateur, qui commande les cames d'admission des quatre cylindres et fait varier les quantités de mélange conservées dans la chambre de compression.

Les chambres de compression sont de petit volume, de manière à ce que la compression reste suffisante, alors même qu'une partie notable du mélange aurait été refusée; la détente est donc toujours considérable.

Le moteur Forest présentait une grande régularité d'allure; la variabilité de l'admission lui assurait une douceur de marche exceptionnelle; au point



de vue économique, il avait tous les avantages du moteur Charon mais il était exposé aux critiques adressées à ce moteur. Nous nous serions reproché de ne pas en faire mention, au moins à titre rétrospectif.

\* \* \*

Les dernières monographies de moteurs que nous venons d'écrire s'appliquent à des petites machines qui peuvent marcher au gaz de ville ou bien au gaz pauvre, mais dont l'aliment le plus habituel est l'air carburé à l'essence. Les perfectionnements apportés aux carburateurs, non moins que les progrès réalisés dans la construction des moteurs, ont mis ces appareils, je me garderai de dire au premier rang, mais en un très bon rang parmi les sources d'énergie des petits ateliers, dans lesquels on ne dispose pas d'une canalisation de gaz et qui ont trop peu d'importance, ou un fonctionnement trop intermittent, pour permettre une installation de gazogène.

Le rendement de ces moteurs fixes à essence est réellement satisfaisant; en effet, leur consommation en gazoline courante a pu être abaissée, pour des puissances de quelques chevaux, à 250 grammes par cheval-heure effectif d'une essence à 11.000 calories : cette dépense correspond à 2.750 calories et à un rendement thermique égal à 23 %; d'autre part, la mise en route est aisée et la marche régulière et sûre. La manutention des essences n'est sans doute pas sans dangers, et à cet égard, l'emploi du pétrole lampant donne de plus grands apaisements; mais le moteur à pétrole à explosion réalise un rendement notablement moindre et expose à des ennuis qu'on n'évite que par une surveillance rigoureuse et délicate, surtout aux charges réduites.

Le prix des essences est malheureusement encore élevé en France; mais on peut espérer que des mesures seront prises pour mettre à la disposition de l'industrie des alcools dénaturés, plus ou moins carburés, pour lesquels le fisc abaissera ses exigences, en récupérant sur les alcools de bouche les diminutions de droits, que l'opinion publique lui imposera certainement un jour, pour la défense de notre change.

### Groupes Électrogènes.

Les groupes électrogènes à essence, à grande vitesse, formant un ensemble complet, d'un maniement aisé, d'une marche sûre et d'un rendement satisfaisant, ont rendu des services remarquables au cours de la grande guerre, où leur emploi s'est généralisé pour l'éclairage des quartiers généraux et des postes d'état-major, pour l'actionnement des projecteurs de la D. C. A. (défense contre aéronefs), pour les services de santé, la télégraphie sans fil, l'électrification des réseaux de fils de fer, etc. On les alimentait à l'essence ou bien au benzol, que l'on trouvait partout aux armées.



La plupart des maisons de construction d'automobiles se sont appliquées à la constitution de ces groupes, et elles ont obtenu des résultats étonnants à tous égards, au point de vue surtout de la régularité de marche, qui était excellente, et de la consommation, dont on s'occupait moins, mais que l'on ne perdait pas de vue. M. Soulier a publié à cet égard, dans la *Revue générale de l'électricité* (1), des chiffres, résultant d'essais suivis, dont nous croyons devoir produire quelques chiffres.

*Groupes de 10 kilowatts (110 volts × 100 ampères).*

|   |               |
|---|---------------|
| Nombre de cylindres.....  | 4             |
| Diamètre des cylindres.....   | 80 mm.        |
| Course des pistons.....   | 0 m. 140      |
| Vitesse en tours-minute.....  | 1.275         |
| Consommation, par kilowatt-heure, d'essence à 0,72, en expériences de 6 heures..... | 535 à 568 gr. |

*Groupes de 22 kilowatts (110 volts × 220 ampères).*

|   |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|
| Nombre de cylindres.....  | 4        | 4        | 4        |
| Diamètre des cylindres.....   | 125 mm.  | 100 mm.  | 130 mm.  |
| Course des pistons.....   | 0 m. 150 | 0 m. 170 | 0 m. 160 |
| Vitesse en tours-minute.....  | 940      | 1.270    | 950      |
| Puissance maximum en kilowatts.....                                       | 26       | 24       | 28       |
| Consommations dans les mêmes conditions que ci-dessus (meilleur résultat) | 500 gr.  | 450 gr.  | 430 gr.  |

J'aurais un grand nombre de constructeurs à nommer ici; signalons entre autres les maisons Aster, Ballot, Bardon, Cadiot, Cazes, de Dion et Bouton (moteur Delieuvin), Gnome, Gobron-Brillié, Millot, Panhard, Peugeot, Renaud, Bignan, Bernard, etc., dont les firmes se présentent les premières à mon souvenir.

Quelques mots seulement et quelques détails.

Les monoblocs Ballot sont ainsi appelés, parce que les quatre cylindres sont venus de fonte d'un seul bloc; les collecteurs d'aspiration et d'échappement font pièce avec les cylindres et sont entourés d'eau comme eux. Une plaque dite cache-soupapes, facilement démontable, surmonte le moteur, ainsi qu'on le voit sur la figure 229. Les pignons de commande de distribution sont enfermés dans le carter. La partie inférieure de celui-ci forme réservoir d'huile. Le graissage s'effectue sous pression, au moyen d'une pompe à huile à engrenages, avec joints hydrauliques.

La puissance de ces moteurs peut atteindre 16 chevaux.

Il ressort d'intéressantes expériences de M. Ballot, que la puissance des moteurs passe par un maximum pour des vitesses déterminées, qui sont de 2.000 tours pour des cylindres, 60 — 0,100 et de 1.500 tours pour les cylindres 100 — 0,170. C'est évidemment une question de remplissage des cylindres, et peut-être aussi de température.

1. Voir le numéro du 26 juillet 1919.



Les groupes Ballot à courant alternatif, sous 1.500 volts de tension, 2.000 au plus, ont été appliqués avec succès à l'électrification des réseaux de fils de fer, montés sur piquets goudronnés, tendus à 15 centimètres du sol; les groupes Aster ont été appliqués au même service.

M. Dieulevin avait innové dans l'établissement des accouplements. Au lieu d'employer une courroie sans fin, ou des bagues en caoutchouc pour relier les doigts de deux plateaux en regard, il réunissait alternativement ces doigts par

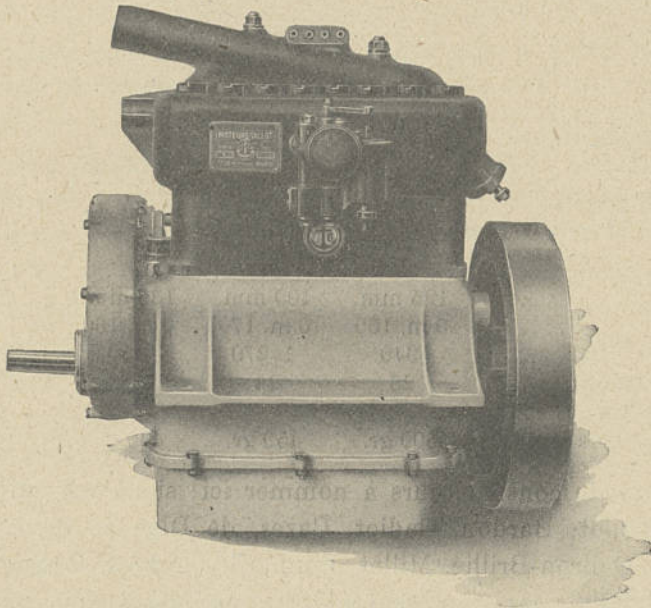


Fig. 229. — Moteur Ballot (monobloc).

des lanières portant des trous. Étant donné le grand nombre de lanières en jeu, chacune d'elles n'était soumise qu'à une faible tension : il en résultait aussi une plus grande tolérance dans le réglage des axes. La plupart des moteurs étaient pourvus d'aéro-refroidisseurs que l'on ventilait énergiquement. L'allumage se faisait généralement par magnétos à haute tension.

Pour faciliter la mise en marche, le moteur Aster présente un dis-

positif nouveau : le déplacement de l'arbre de commande arme un ressort, qu'un dé clic fait déclancher en provoquant une oscillation rapide de l'induit.

Dans le moteur Millot, le régulateur agit en calant la soupape d'échappement pour la maintenir ouverte, aussitôt que la vitesse de régime est dépassée. L'allumage électrique est effectué par une magnéto rotative en prise directe avec l'arbre du régulateur, tournant à la vitesse du moteur, ce qui permet une mise en route facile (1). Le carburateur est automatique : une vanne d'air additionnel permet de régler la carburation et de l'adapter à toutes les qualités d'essence. Un essai officiel a relevé une dépense d'essence de 294 grammes par cheval-heure effectif; ce chiffre est à remarquer.

Le moteur Bernard présente une disposition originale : le radiateur est placé dans le volant; celui-ci est muni d'ailettes, qui chassent l'air à travers les tubes en demi-cercles. La circulation de l'eau est assurée par une pompe centrifuge, faisant partie intégrante du moteur. Le carburateur a été perfectionné par

1. Brevet français du 27 mai 1921.



l'application d'un masque, en forme de demi-cylindre, placé en amont du gicleur; le trou d'air additionnel débouche au-dessus. Il résulte de cette disposition que la vitesse de l'air, pénétrant par cet orifice, augmente avec l'appel du moteur, freine automatiquement le débit et maintient le mélange de composition sensiblement constante. Le masque augmente la vitesse de l'air, dont les filets se rencontrent en aval, en produisant eux-mêmes un effet Venturi.

Il me reste à signaler, ne serait-ce que pour mémoire, quelques types très spéciaux de machines à gaz que je ne peux passer sous silence dans cet ouvrage consacré à l'étude théorique et pratique des moteurs : à ce titre, il doit être aussi complet que possible.

### Moteurs Compound.

Il est une idée qui germe depuis longtemps dans l'esprit des inventeurs voués aux progrès des moteurs à gaz; c'est d'appliquer à ces moteurs le compoundage, qui donne de si heureux résultats dans les machines à vapeur : Otto, Clerk, Niel, Livesay, Diesel et bien d'autres s'y sont appliqués, sans obtenir les résultats qu'ils espéraient.

En principe, le but était rationnel; on voulait prolonger la détente et recueillir toute l'énergie disponible de l'explosion. Nous avons montré quel profit considérable pouvait théoriquement être réalisé de la sorte.

Mais le supplément de travail ainsi obtenu pouvait ne pas compenser toujours l'augmentation des résistances passives résultant de l'emploi d'un second cylindre et de tous ses organes auxiliaires. Il y avait donc lieu d'étudier la question avec soin avant de se lancer dans cette voie du doublement des cylindres.

D'autre part, il ne faut pas perdre de vue que l'action des parois augmente avec l'étendue des parois au contact desquelles évoluent les gaz. Nous avons longuement développé, en exposant notre théorie des moteurs, les méfaits des parois froides et nous ne reviendrons pas sur les multiples considérations que nous avons fait valoir. Rappelons seulement que, dans des moteurs à cylindres à détentes successives, refroidis par une circulation d'eau, on court le risque de jeter au ruisseau bien plus de calories par l'eau chaude qui sort des enveloppes qu'on n'en jette à l'atmosphère par la décharge de gaz insuffisamment détendus.

On nous répondra peut-être que l'exemple des machines à vapeur est un argument général en faveur des cylindres étagés, et que cet argument vaut pour toutes les machines thermiques, attendu que dans toutes ces machines on transforme des calories en kilogrammètres par un procédé analogue, en s'efforçant d'en perdre par la paroi le moins qu'on peut. Ce raisonnement est un sophisme. En effet, il ne tient pas compte de ce que dans la machine à vapeur



le rôle des enveloppes est inverse de ce qu'il est dans le moteur à gaz; en vapeur, la paroi est réchauffée; en gaz tonnants, elle est refroidie : l'assimilation des fonctions n'est donc pas permise. De plus, dans la machine à vapeur il faut lutter contre la perte au condenseur, qui n'existe pas dans le moteur à gaz; enfin, la vapeur se comporte tout différemment que les gaz dans les cylindres moteurs.

La question du compoundage en moteurs à gaz se pose donc différemment qu'en machines à vapeur, et les arguments qu'on peut développer en faveur de ce procédé sont en somme fort discutables.

La pratique a du reste tranché le problème : on a essayé divers moteurs compound, et on les a presque tous abandonnés.

Les trop ardents promoteurs des turbines à gaz feront bien de méditer cette leçon de choses et d'en retenir qu'un succès en vapeur n'est pas un gage assuré de réussite en gaz tonnants.

Cela dit, rappelons brièvement les tentatives qui ont été faites pour tirer parti des avantages que l'on attendait du compoundage. Otto s'y est appliqué le premier; son brevet remonte à 1879 : un cylindre de détente B était adjoint à deux cylindres à haute pression A; le piston B était conjugué aux deux autres, de façon qu'il accomplit sa première course motrice pendant que l'un d'eux était en phase de compression et l'autre en phase d'échappement. Les résultats obtenus ont été peu satisfaisants. Niel, dont le brevet porte la date de 1882, faisait passer les gaz brûlés, sortis du cylindre à haute pression, sur un régénérateur, que traversait en sens inverse l'air pur admis pour former le mélange tonnant; il semblait que le calorique devait être utilisé de la sorte dans les meilleures conditions, mais il n'en fut rien. En 1894, Crossley imagina de compléter la détente en faisant agir les gaz brûlés sur la face avant du piston, avant de leur laisser prendre le chemin de l'atmosphère : je ne sais si ce dispositif a été réalisé.

Wertenbruch revint au compoundage d'une manière nouvelle, en disposant en tandem deux cylindres, de diamètres différents. Le piston était par suite aussi à deux diamètres : il présentait de plus la particularité que les segments du petit piston étaient plus étroits que la rainure dans laquelle ils sont logés. Quand le piston descend, les segments se placent à la partie supérieure de la rainure; au contraire, quand le piston monte, les segments glissent contre le bas de cette rainure. Or, le segment en se déplaçant ouvre ou ferme un canal, qui fait communiquer par l'intérieur du piston les deux cylindres.

Voici comment se déroule la suite des opérations constituant le cycle. Le piston monte et aspire le mélange tonnant dans le petit cylindre; en redescendant, une partie du gaz passe au grand cylindre, en chasse les gaz brûlés et subit la compression. Les deux cylindres et le piston sont pleins de gaz : l'allumage ayant lieu, l'explosion se fait avec une forte détente, puisque le volume du petit piston alimente le cylindre de grand diamètre.



MM. Roser et Mazurier ont créé un nouveau type de moteur à quatre temps, pouvant marcher à volonté au gaz ou à l'air carburé, dans lequel ces inventeurs ont cherché à utiliser par un troisième cylindre, alimenté d'air pur, les chaleurs perdues à l'échappement des deux cylindres à gaz tonnant.

Le moteur Roser-Mazurier se compose en somme de deux moteurs à gaz jumelés, auxquels on accouple un moteur à air chaud; ce troisième moteur emprunte son calorique aux deux premiers; on comprime en effet dans son cylindre, vers la fin de l'échappement, une partie des gaz chauds évacués par les deux cylindres à gaz. C'est donc réellement une machine Compound d'un nouveau genre, qui mérite d'arrêter l'attention.

Il convient d'observer que ce moteur est équilibré dans une certaine mesure, attendu que les pistons moteurs travaillent en sens inverse, l'un aspirant le mélange tandis que l'autre donne son impulsion motrice; les deux montent tandis que le grand piston du moteur à air chaud descend. Or, le poids de ce dernier est égal à celui des deux premiers.

Le cycle du moteur à air chaud est à deux temps. Dans sa première course, le piston reçoit la pression de l'air qu'il a comprimé préalablement et qui est alors chauffé par les gaz de l'échappement des deux moteurs à gaz. Pendant sa seconde course, il évacue d'abord une fraction des gaz renfermés dans le cylindre; puis, le clapet de décharge se fermant, il comprime les gaz restants, de manière à ce qu'ils soient prêts à recevoir à leur tour la chaleur des gaz chauds provenant des deux cylindres à explosion.

Ces dispositions sont curieuses et elles donnent au moteur Roser-Mazurier une certaine originalité; elles sont toutefois assez compliquées.

L'arbre moteur est à vilebrequin présentant trois coudes, calés à 90°; comme il est en dehors des axes des cylindres, les deux pistons à gaz stationnent un peu avant la fin de la course; c'est à ce moment que les gaz brûlés réchauffent la masse d'air comprimée dans le troisième cylindre. Le piston à air est alors poussé en avant et la détente des gaz exerce son effort sur les plus grands bras du levier de la manivelle. L'arbre est équilibré par des masses supplémentaires.

Les cylindres à gaz sont refroidis par une circulation d'eau; le cylindre du moteur à air est simplement à enveloppe d'air, ce qui l'isole suffisamment.

Voici quelques données de construction.

*Dimensions d'un moteur de cinq chevaux à la « gasoline ».*

|   |          |
|---|----------|
| Diamètre des cylindres à air carburé..... | 85 mm.   |
| Course des pistons.....                   | 0 m. 140 |
| Diamètre du grand cylindre à air.....     | 120 mm.  |
| Course du piston.....                     | 0 m. 140 |
| Nombre de tours par minute.....           | 550 mm.  |

Marchant à l'essence de 0,720 de densité, cette machine a consommé en essais 290 grammes par cheval-heure effectif : c'était un beau résultat, mais qui n'a pas eu de lendemain.



Le moteur Buttlér, dont il a déjà été parlé ci-dessus, a fourni un rendement du même ordre pour une puissance de 100 chevaux : je ne saurais dire si cette machine est entrée dans la pratique industrielle.

Je ne connais pas d'autre moteur à gaz compoundé.

Le premier brevet de Diesel prévoyait un compoundage, que ses collaborateurs d'Augsbourg se sont empressés d'abandonner.

### Moteurs mixtes gaz-vapeur.

L'idée est ancienne d'employer les chaleurs perdues des moteurs à vaporiser de l'eau, dont la force élastique vient s'ajouter à celle du mélange combustible d'air et de gaz : elle avait été appliquée par Simon, dès 1867, non sans succès, attendu que ce petit moteur fournissait le cheval-heure par 800 litres de gaz de ville et 4 litres d'eau, ce qui était apprécié à l'époque.

Cette manière de faire a été reprise maintes fois, et notamment en 1901, par M. Genty, de la Société des industries économiques. Cet inventeur plaçait, entre deux cylindres égaux à quatre temps, un grand cylindre complété par une pompe à air et un condenseur. Par la face supérieure de ce piston, ce cylindre fonctionne comme un détendeur supplémentaire, alors que sa face inférieure remplit l'office de pompe à air. Les gaz de la décharge traversent des générateurs de vapeur, qui vaporisent de l'eau et surchauffent la vapeur produite. Celle-ci est introduite dans la partie supérieure du grand cylindre à travers les cylindres à quatre temps, de manière à utiliser la chaleur de leurs parois ; elle y est admise automatiquement, aussitôt que la pression dans le grand cylindre est devenue suffisamment faible. En s'échappant de ce cylindre, le mélange de vapeur et de gaz brûlés va au condenseur, d'où il est finalement expulsé par le jeu du mécanisme.

Voici l'énumération des phases successives :

- 1° Aspiration du mélange tonnant dans un des moteurs à quatre temps ;
- 2° Compression dans la chambre de combustion ;
- 3° Explosion, échappement dans le grand cylindre avec addition de vapeur et détente ;
- 4° Évacuation au condenseur ;
- 5° Compression du mélange pour revenir à la pression atmosphérique et permettre l'expulsion au dehors.

Cette machine ingénieuse était vraiment trop.

Le moteur Still, dont on a dit beaucoup de bien en ces derniers temps, échappe sans doute à ce reproche (1). L'objectif poursuivi par l'inventeur est d'utiliser le mieux possible toute la chaleur perdue par les parois et emportée

1. Cf. *Revue générale de l'électricité*, octobre 1919, et *Electrical Revue*



par les gaz de la décharge; la vapeur engendrée de la sorte agit sur une face du piston-moteur, la puissance des gaz tonnants s'exerçant sur l'autre.

La chemise du cylindre constitue un générateur de vapeur, qui est complété par une chaudière tubulaire, traversée par l'échappement du moteur à gaz; la vapeur se surchauffe dans cet appareil. A pleine charge, le poids de vapeur ainsi produit atteint 3 kg. 5 par cheval-heure.

Le moteur à gaz fonctionne à quatre temps; les gaz explosés exercent leur action sur la face supérieure du piston; la vapeur agit sur sa face inférieure. Elle se décharge dans un condenseur. Il ressortirait d'essais, poursuivis sur cette machine, que la pression moyenne exercée sur le piston par les gaz atteindrait 6 kg. 3 par centimètre carré, alors que la vapeur donnerait 2 kilogrammes, soit au total 9 kg. 3. La puissance additionnelle développée par la vapeur atteindrait 40 % de la puissance totale de la machine.

On a construit des moteurs à trois cylindres, d'une puissance de 390 chevaux effectifs; c'étaient des machines à grande vitesse, alimentées de gaz de ville.

L'article, auquel j'emprunte ces chiffres, estime le rendement thermique d'un tel moteur à 46 %; cette valeur constituerait un record pour les machines thermiques, car les meilleurs moteurs Diesel sont loin de fournir de semblables résultats. On affirme, d'autre part, que le moteur Still a pu maintenir une surcharge de 100 %.

On a fait valoir, pour expliquer cette extraordinaire performance, en premier lieu l'utilisation plus complète des chaleurs qui sont ordinairement perdues. De plus, on a attribué au moteur à gaz proprement dit un rendement élevé, dû à la haute température des parois de son cylindre, ce que je suis tout porté à admettre; enfin, le cylindre à vapeur est lui-même à enveloppe surchauffée, et la vapeur se détend dans une enceinte dont les parois sont plus chaudes qu'elle, ce qui constitue un nouvel argument, dont il faut reconnaître la valeur.

Il est à souhaiter que les résultats annoncés soient confirmés par la pratique industrielle, qui est le criterium suprême du succès.

### Pompe Humphrey.

Parmi les appareils les plus intéressants que présentait la section des machines de la dernière Exposition de Bruxelles, les ingénieurs plaçaient au premier rang la pompe Humphrey. C'est un élévateur hydraulique d'un nouveau genre, à utilisation directe de l'énergie explosive d'un mélange tonnant, donc à combustion interne, dont le piston est constitué par une colonne d'eau; celle-ci se déplace sous les impulsions qu'elle reçoit dans un sens ou dans l'autre, et elle effectue des courses alternatives variables, en obéissant aux effets de son inertie et à ceux d'une charge tonnante.



La pompe est représentée en coupe schématique par la figure 230 : R est le réservoir dont il s'agit de monter le contenu par la conduite D ; le dessin n'en porte que l'amorce ; l'eau est captée par le tuyau T, garni d'un grand nombre de valves V, s'ouvrant de l'extérieur vers l'intérieur. Ce tuyau est relié par un coude au cylindre vertical C, dans lequel se produit l'explosion du mélange. Ce cylindre porte à sa partie supérieure, montées sur sa coupole, trois soupapes : s est la soupape d'admission recevant le gaz par A ; s' est la soupape d'échappement, qui évacue les gaz brûlés par E ; elles sont auto-

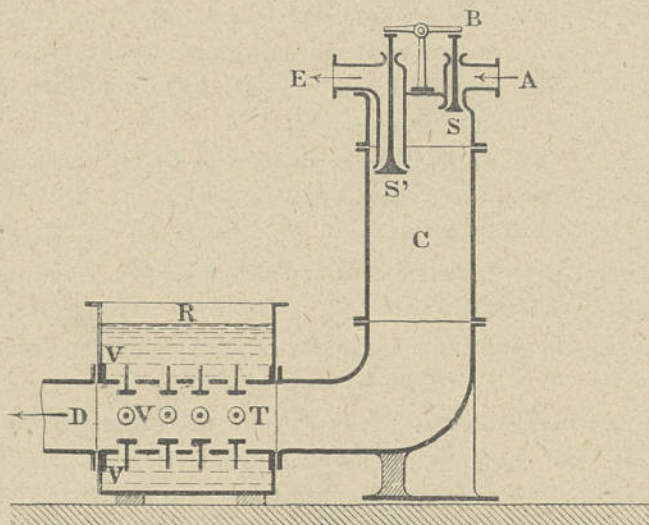


Fig. 230. — Pompe Humphrey.

matiques, et néanmoins dépendantes l'une de l'autre, par le balancier B, qui empêche les deux soupapes d'être ouvertes en même temps ; une troisième soupape, invisible sur le dessin, ouvre le chemin en temps voulu à une charge d'air pur, que nous appellerons l'air de balayage. Les soupapes sont munies de ressorts d'une tension et d'une énergie appropriées pour faciliter l'accomplissement de leur fon-

tion. Il y a enfin, sur le côté de la culasse, une petite chambre de compression, que l'eau vient remplir ; elle se termine par un piston équilibré, connecté avec un distributeur de courant, auquel est dévolu l'office de faire jaillir une étincelle d'allumage dans le mélange explosif renfermé dans la partie supérieure du cylindre.

Cela posé, nous pouvons aborder la description du fonctionnement de cet ingénieux appareil : nous partirons du temps d'explosion pour retracer la suite des phénomènes. Le cylindre est rempli presque entièrement d'eau, sa partie supérieure renfermant un certain volume de mélange explosif, qui déflagre sous l'action d'une chaude étincelle. La détonation développe une pression d'une dizaine de kilogrammes, qui refoule la colonne d'eau de la conduite T, ferme les valves V, et lance le liquide dans le tuyau, aboutissant au réservoir supérieur, qu'il s'agit d'alimenter.

La colonne ainsi projetée prend une grande vitesse et crée derrière elle un vide, suffisant pour déterminer l'ouverture de la soupape d'échappement d'un côté et de l'autre de la soupape de balayage. Les gaz brûlés sont donc remplacés par de l'air frais.



Mais la colonne revient sur elle-même, elle envahit de nouveau le cylindre C et va frapper la soupape s' de décharge, qu'elle ferme du coup, en comprimant dans la culasse les gaz qu'elle renfermait encore; ceux-ci font matelas élastique et provoquent un mouvement inverse de l'eau, de bien moindre amplitude que le précédent, mais suffisant pour provoquer un appel de gaz par la soupape d'admission s. L'oscillation est limitée par les frottements; l'eau revient encore en arrière, en comprimant définitivement le mélange logé dans la culasse supérieure du cylindre C. C'est alors que jaillit l'étincelle. Avec l'explosion qu'elle produit naît la réaction par laquelle le cycle recommence sa suite d'opérations. En somme, nous voyons que nous avons eu une longue course de détente, suivie de deux courses plus brèves d'admission et de compression : l'ensemble du cycle est donc bien à quatre temps.

On peut analyser exactement le fonctionnement de la machine à l'aide de diagrammes marquant les temps en abscisse et les pressions en ordonnée : voici ce que l'on observe, en prenant comme origine l'instant où jaillit l'étincelle.

| PHÉNOMÈNE              | DURÉES         | PHASE                         | PRESSIONS<br>ABSOLUES |
|------------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------|
| Allumage.....          | Temps initial. |                               | 2,3                   |
| Explosion.....         | 0,08           |                               | 8,5                   |
| Détente.....           | 0,50           |                               | 0,9                   |
| —.....                 | 1,32           | Fin du 1 <sup>er</sup> temps. | 1,0                   |
| Retour de l'eau.....   | 2,50           |                               | 1,0                   |
| —.....                 | 2,77           | Fin du 2 <sup>e</sup> temps.  | 9,0                   |
| Refoulement d'eau..... | 3,0            |                               | 0,85                  |
| Aspiration.....        | 3,57           | Fin du 3 <sup>e</sup> temps.  | 1,0                   |
| Compression.....       | 4,30           | Fin du 4 <sup>e</sup> temps.  | 2,3                   |

Le cycle, parcouru en quatre secondes et demie, est caractérisé par une longue détente, gage des bons rendements thermiques, ainsi que nous le savons par la théorie et la pratique. Les résistances passives sont du reste assez faibles, de sorte que le rendement organique doit être lui-même satisfaisant. Le fonctionnement de l'appareil n'est enfin pas compliqué et celui-ci ne comporte pas d'organes délicats. On met en route aisément en utilisant la charge conservée dans le cylindre à la suite d'un arrêt; on a provoqué cet arrêt par une suppression d'allumage : on remet en route en faisant jaillir une étincelle. La première mise en route s'obtient à l'aide d'une charge de mélange comprimé.

Le régime de fonctionnement dépend des conditions de l'installation : à l'Exposition de Bruxelles, je comptais une dizaine de coups à la minute, la pompe remontant à chaque coup 2.500 litres d'eau.

Les prospectus annonçaient d'importantes installations faites en Angleterre, en utilisant du gaz pauvre, et en particulier du gaz Mond. Ce gaz donne, pour une compression à moins de 3 kilogrammes, une pression explosive de près de 7 kilogrammes, permettant d'élever l'eau à une grande hauteur; on a déclaré une consommation de 475 grammes de charbon par cheval-heure en eau montée,



ce qui correspondrait à une utilisation très satisfaisante. A Dudley-Port, une installation estimée à 36 chevaux, a consommé 454 grammes d'antracite pour le même travail, la pompe élevant l'eau à 12 mètres, par 12 coups à la minute.

Ces premiers résultats encouragèrent M. Humphrey à entreprendre, à Londres, le service des eaux du réservoir de Chingford : il s'agissait d'élever par jour 822.200 mètres cubes à 10 mètres de hauteur, ce qui exigeait une pompe de 300 chevaux. La soumission garantissait une consommation de 500 grammes par cheval-heure en eau montée, avec une pénalité de 25.000 francs par 45 grammes de combustible en excès. Les propositions de M. Humphrey comportaient pour sa soumission un rabais de 475.000 francs sur le devis. Le succès a couronné cette audacieuse entreprise et il a valu au nouveau système une grande notoriété. On fabrique le gaz par des gazogènes Dowson; il y a quatre producteurs, desservis par trois chaudières à vapeur. La pompe présente seize soupapes d'échappement. Le courant d'allumage est fourni par une batterie d'accumulateurs. Le diamètre des tuyaux d'arrivée au réservoir est de 1 m. 220. On a signalé que les gaz de la décharge ne produisent aucun bruit gênant pour le voisinage : ils sont en effet expulsés sous une pression voisine de celle de l'atmosphère (1).

### Compresseur d'air Matricardi.

Cet appareil, qui présente quelque analogie avec le précédent, est constitué par un cylindre horizontal C, dont les deux extrémités sont entièrement identiques; on y trouve (fig. 231) une soupape A, mettant le cylindre en communication avec l'air libre, une soupape s, donnant accès au moment voulu à une charge d'hydrocarbure, et une valve V de refoulement vers une canalisation conduisant à un réservoir clos. Un circuit d'allumage, fermé par le piston à fond de course, fait jaillir l'étincelle dans la culasse et produit la combustion du mélange, qui s'y trouve confiné.

Le piston, dépourvu de tige, est entièrement libre.

Le fonctionnement de ce compresseur est le suivant. Supposons qu'une explosion vienne de chasser le piston de gauche à droite : les gaz chauds se détendent derrière lui; aussitôt que la valve V est découverte, une partie passe par le chemin qui leur est ainsi ouvert, vers les conduites de refoulement, et le reste continue de se détendre. En vertu de la vitesse acquise par le piston et de sa grande masse, la dépression qui se produit alors abaisse la tension des gaz brûlés en dessous de la pression atmosphérique et la soupape automatique A s'ouvre largement; s, qui est soumis à l'action d'un ressort plus énergique ne livre passage que plus tard à l'air carburé. Il s'est donc formé

1. J'emprunte ces renseignements à un article de *la Technique moderne* du 1<sup>er</sup> mai 1913.



derrière le piston un mélange tonnant, lequel sera comprimé dans la course de retour du piston.

C'est que la même série d'opérations s'est produite dans le même ordre sur l'autre face du piston et que celui-ci, arrivé à fond de course sur la droite, s'est trouvé chassé en sens inverse.

On voit que la marche est à double effet et que les impulsions motrices se succèdent régulièrement, en donnant au piston un mouvement alternatif. A chaque coup, le réservoir reçoit du gaz en charge; mais à l'aller, ce sont des gaz brûlés; au retour c'est de l'air, qui pourrait renfermer un peu de produits car-

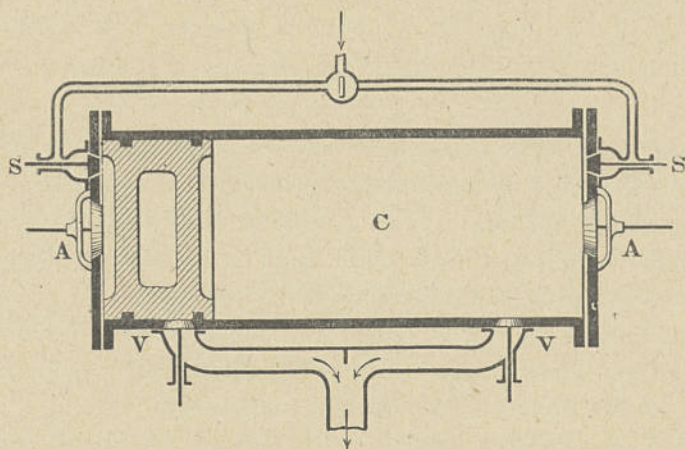


Fig. 231. — Compresseur Matricardi.

burés : on compte, il est vrai, que ceux-ci restent confinés dans la culasse. Les partisans de la théorie des tranches l'admettent volontiers (1).

Je ne sais quels résultats a fournis cette étrange machine, dont j'ai trouvé la mention dans *le Génie civil*, qui attribue au compresseur Matricardi un rendement élevé en gaz, mais en faisant observer qu'il ne peut desservir un foyer ou bien un chalumeau, et qu'il est réservé à l'actionnement d'appareils pneumatiques.

1. *Le Génie civil*, 8 juin 1912, d'après *Engineering* du 1<sup>er</sup> mars précédent.



## CHAPITRE XIII

---

### MOTEURS A GAZ A DEUX TEMPS

---

#### *Monographies.*

*Un coup par tour* : telle était la devise des chercheurs qui attachaient leur fortune aux deux temps et gardaient obstinément l'espérance de détrôner les quatre temps ; ils ont formé un petit groupe de dissidents à côté de la grande majorité des constructeurs, qui ont suivi Beau de Rochas et Otto. On comprend bien que les disciples de Dugald Clerk aient prolongé la lutte, car le *coup par tour* était séduisant à tous égards. Otto lui-même avait subi la séduction de cette solution et, en 1887, alors que son moteur bénéficiait de l'engouement universel, il prenait un brevet pour un dispositif à deux temps (1).

C'est l'infériorité de leur rendement thermique et organique qui a plaidé contre les moteurs à deux temps : cette infériorité était due principalement à ce que l'on pratiquait une compression trop faible dans ces machines ; je ne reviendrai pas sur cette considération, que j'ai déjà développée ci-dessus.

Nombreuses étaient encore les causes de perte. Et d'abord, l'avance considérable qu'il fallait donner à l'échappement, afin de hâter l'expulsion des gaz brûlés, constituait un déchet sensible, par insuffisance de détente. D'autre part, le mélange perdait presque toute sa pression dans le transvasement de la pompe au cylindre moteur, de telle sorte que le travail dépensé dans cette pompe l'était en pure perte. La multiplication des cylindres abaissait aussi le rendement organique des machines. Mais voici qui était plus grave : l'introduction du mélange dans le cylindre moteur, au moment où sa soupape de décharge était ouverte, ne pouvait avoir lieu sans perte de gaz tonnant, attendu que le déplacement des produits de la combustion précédente ne s'effectuait pas sans une diffusion des gaz neufs à expulser dans l'atmosphère. Toutes ces causes conspiraient pour mettre les moteurs à deux temps dans un état d'infériorité comparativement aux moteurs à quatre temps, pour lesquels toutes les opérations s'effectuaient sans transvasement et sans perte, dans les meilleures conditions mécaniques et thermiques.

1. Ce brevet porte la date du 8 septembre 1887 ; il a été signalé par G. Richard dans ses *Nouveaux moteurs à gaz et à pétrole*, Paris, 1892, page 285.



On pouvait corriger ces défauts dans une certaine mesure en préparant à part, dans un récipient spécial, une réserve de gaz tonnant fortement comprimée par la pompe et en la servant au cylindre moteur exactement comme une chaudière à vapeur alimente le cylindre d'une machine à vapeur. Ce mélange devait être directement admis au cylindre dans la proportion nécessaire, sous la dépendance du régulateur, allumé aussitôt et détendu à fond. Ce procédé était séduisant à tous égards, mais il présentait un réel danger, attendu que la charge comprimée pouvait être enflammée par une cause accidentelle quelconque et provoquer une rupture du réservoir. Otto avait prévu l'objection et il avait indiqué une manière de faire qui écartait tout péril : son réservoir était constitué par un long tube en serpentin, dans lequel on refoulait l'air par une extrémité, et le gaz combustible par l'autre; la section étroite du tube réduisait au minimum la surface de contact des deux gaz, qui ne pouvaient pas se diffuser l'un dans l'autre. C'était évident pour les ingénieurs de Deutz, qui avaient si longtemps eu foi dans la théorie des tranches. En cette occurrence, ils ne se trompaient pas et les choses se passèrent à peu près comme on l'espérait; le gaz restait logé dans la partie du serpentin attenante au cylindre; il passait donc le premier à travers la valve d'admission; l'air qui arrivait après lui tourbillonnait dans sa masse et opérait dans le cylindre un brassage efficace du combustible et du comburant. Je ne sais si toutes ces idées ont été réalisées telles que je viens de les exposer; mais elles mériteraient de l'être.

En 1889, l'expérience semblait avoir démontré que la consommation des moteurs à deux temps, par cheval-heure effectif, dépassait de beaucoup celle des moteurs à quatre temps; aussi les premiers ne se construisaient-ils presque plus, du moins pour l'emploi du gaz de ville.

Mais l'infériorité du rendement des deux temps perdait de l'importance, quand on marchait aux gaz pauvres, parce qu'alors on comparait les consommations du groupe gazogène-moteur avec celles du groupe chaudière-machine à vapeur et qu'il restait encore un bénéfice pour le premier; d'autre part, une économie de gaz déterminée devenait moins sensible, quand on le produisait directement à côté du moteur au lieu de l'acheter à une compagnie. L'expérience démontra, du reste, que les moteurs à deux temps jouissent d'un meilleur rendement thermique, lorsqu'ils travaillent aux trois quarts de leur pleine charge nominale; pour les quatre temps, au contraire, la consommation augmente dans ces conditions : l'avantage est marqué pour les deux temps, attendu que, dans les usines métallurgiques, les moteurs ne sont le plus souvent appelés à fournir que 75 % de leur puissance. Un retour de faveur se dessina donc pour les deux temps.

Les deux temps se prêtaient d'ailleurs fort bien à la production des grandes puissances motrices, par suite de la douceur de leur marche et de la sécurité de leur fonctionnement. Ils donnaient un meilleur coefficient de régularité et n'imposaient pas l'emploi des volants de grande masse qu'exigeaient les moteurs



à quatre temps. Leur construction était assurément plus simple que celle des moteurs à quatre temps, à simple effet, en tandem, alors en usage; les machines à deux temps étaient plus courtes, elles n'avaient qu'un cylindre moteur, à égalité de puissance. On ne pouvait leur dénier d'incontestables qualités de souplesse et d'élasticité, car elles développaient une puissance sensiblement constante, à divers régimes, et elles se prêtaient à la réalisation de toute une gamme de vitesses, sans que leur fonctionnement en fût troublé.

La création du double effet a diminué la valeur de quelques-uns de ces arguments, mais le dernier n'a rien perdu de son importance.

Ces considérations militaient en faveur des puissants moteurs à deux temps, alimentés de gaz pauvre ou de gaz de hauts fourneaux et justifiaient de nouveaux essais dans cette direction. Les von Oechelhaeuser et les Koerting se lancèrent résolument dans la voie et le succès a récompensé leur intelligente initiative. Leurs machines ont soutenu la concurrence contre les nouvelles constructions à double effet pour les stations centrales, et leur ont souvent été préférées pour la commande des machines soufflantes (1).

Mais on obtenait les deux temps au prix d'une complication coûteuse de pompes et de soupapes, acceptée pour des moteurs considérables, dont il fallait se libérer dans la construction des moindres puissances : on obtint une simplification notable en utilisant le piston moteur lui-même à comprimer l'air et en supprimant les soupapes, le piston étant chargé d'y suppléer en découvrant des orifices percés dans la paroi du cylindre. C'est ainsi qu'est né le moteur à deux temps, qui a trouvé une clientèle parmi les constructeurs d'autos et d'avions.

En automobilisme, la souplesse du moteur prend une importance considérable : on a pu croire un moment que, à l'instar des moteurs à vapeur, les deux temps réussiraient à dispenser des changements de vitesse; c'était un beau rêve. Mais les changements de vitesse deviennent plus simples, leur usage est moins fréquent, et il en résulte des facilités appréciables pour la conduite des voitures. On évite la multiplicité des cylindres qu'exigent les quatre temps, pour réaliser la régularité cyclique nécessaire : celle-ci est donc obtenue avec une complication beaucoup moindre, et le prix est partant moins élevé. Ajoutons enfin qu'au point de vue fiscal, la formule servant de base à l'application des impôts favorise les deux temps, attendu que, pour les mêmes caractéristiques et la même taxe, les deux temps développent une puissance qui est une fois et demie plus grande que les quatre temps.

Les aviateurs sont, en général, favorables aux deux temps, qui développent pour un même nombre de cylindres, un couple moteur deux fois plus régulier et qui fatiguent moins les hélices, parce qu'ils provoquent moins de vibrations, non seulement dans le sens de la rotation, mais encore dans le sens de la torsion des sections de l'hélice.

1. Le moteur à deux temps se nomme, en allemand, *zweitakt*; en anglais, *two-cycles*; avec compression, se dit *mit verdichtung*.



Avant d'aborder la description individuelle des principaux moteurs à deux temps, il me reste un mot à dire de leur classification.

Pour la rendre plus intelligible, je m'arrêterai d'abord à l'étude des éléments du moteur primitif de Dugald Clerk, qui est le proto-type du genre (1). Cette machine était composée de deux cylindres, l'un moteur (*working*), l'autre déplaceur d'air (*displacer*), chargé de comprimer de l'air, mais auquel était aussi dévolue la mission subsidiaire de balayer hors du premier cylindre les résidus d'une explosion antérieure.

Quand le piston du déplaceur C marche en avant, il aspire, pendant la moitié de sa course, un mélange tonnant au  $\frac{1}{7}$ ; ensuite, l'afflux du gaz combustible cesse, et il se fait un appel d'air pur pendant l'autre moitié de la course : admettons provisoirement que ces gaz, ainsi partagés en deux couches, restent juxtaposés sans se mélanger, l'air étant logé à la suite du mélange tonnant. Dans la course de retour du piston déplaceur, l'air sera donc expulsé d'abord. Or, au moment où ce piston déplaceur commence son mouvement rétrograde, le piston moteur avançait encore; lorsque le déplaceur arrive au milieu de sa course en arrière, le moteur est au commencement de la sienne : il en résulte que, les deux cylindres étant mis en communication, l'air pur du déplaceur viendra nettoyer le cylindre moteur; puis, si l'échappement se ferme à temps voulu, le mélange tonnant sera introduit derrière le piston moteur et comprimé par lui dans la chambre d'explosion.

Suivons maintenant les opérations qui sont effectuées dans le cylindre de travail : la compression étant achevée avec la fin de la course arrière, l'explosion a lieu sous volume constant, et les gaz brûlés se détendent; vers les trois quarts de la course avant, l'échappement commence. La détente des produits est donc peu considérable : le volume final n'est pas plus grand que le volume initial du mélange avant compression; c'est le point faible du type Clerk.

Il en présente un autre, résultant de ce que la stratification des gaz, que l'on a admise, ne se réalise nullement.

Des essais ont été faits à ce sujet, en présence de lord Kelvin, qui a daigné y présider : voici les constatations relevées.

En prélevant un faible volume du mélange derrière le piston moteur, en quelque position qu'il se trouve, il était facile de se rendre compte de l'état des gaz au point de vue spécial de leur inflammabilité : or, en toute circonstance, le mélange a toujours pu être enflammé. L'air pur, chassé à travers le cylindre pour balayer les produits de la combustion antérieure, est donc toujours mêlé de gaz, par un effet inévitable de l'extrême diffusibilité des éléments dont se compose le gaz d'éclairage. La stratification des gaz est par suite absolument théorique, et l'on ne saurait nier qu'il se perd du gaz combustible dans ces

1. Ce moteur a été créé en 1877, mais il n'a pris sa forme définitive que plus tard; le brevet complet est daté de 1881.



moteurs. L'opération nécessaire au balayage des produits est donc onéreuse; par contre, il faut lui reconnaître le précieux avantage de nettoyer le cylindre moteur de toute matière enflammée capable de déterminer à contretemps une explosion prématurée du mélange admis. De plus, l'expulsion des gaz brûlés assure, pour le mélange tonnant, une détonation à volume constant plus instantanée et une combustion plus complète : à cet égard encore, l'idée de l'ingénieur anglais était heureuse, car elle tendait à supprimer une des imperfections du cycle dont l'influence sur le rendement est certainement nuisible.

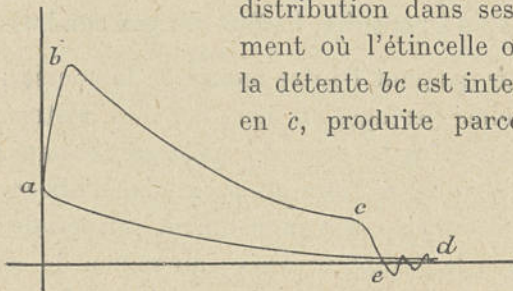


Fig. 232. — Diagramme Dugald Clerk.

L'étude du diagramme Dugald Clerk, de la figure 232, permet de suivre la distribution dans ses phases consécutives. Partons du moment où l'étincelle opère la mise de feu de la charge, en *a*; la détente *bc* est interrompue par un échappement anticipé en *c*, produite parce que le piston a découvert dans sa marche en avant une série annulaire d'ouvertures pratiquées dans la paroi du cylindre; la décharge s'effectue librement par ces orifices, de large section. De cet échappement prématuré résulte une perte de travail, mais on ne pouvait l'éviter; en effet, il faut donner le temps à la décharge de se faire et à l'air, envoyé par le déplaceur, de balayer le cylindre: on doit enfin préparer l'admission de la charge explosive. Celle-ci a lieu de *d* en *e*; à ce moment commence la compression, qui peut atteindre au plus 5 kilogrammes.

La consommation de ce moteur a toujours été assez grande : on peut en juger par la communication faite aux *Ingénieurs civils* de Londres, en 1883, par M. Clerk lui-même. Un moteur de 7 chevaux effectifs de 150 millimètres de diamètre et 0 m. 305 de course, faisant 150 tours par minute, a développé 8,8 chevaux indiqués, en consommant 620 litres par cheval-heure indiqué. Suivant les errements de l'époque, les expérimentateurs n'avaient pas eu le souci de déterminer le pouvoir du gaz, mais il devait être assez riche, comme le sont généralement les gaz anglais : la consommation était donc relativement élevée.

Quelques aménagements de détail permirent d'obtenir mieux, ainsi qu'en témoigne le tableau ci-dessous, publié par M. Dugald Clerk (1).

|  |                            |                  |             |             |
|--|----------------------------|------------------|-------------|-------------|
| Diamètre du cylindre moteur.....         | 152 mm.                    | 203 mm.          | 229 mm.     |             |
| Sa course.....                           | 0 m. 254                   | 0 m. 406         | 0 m. 508    |             |
| Diamètre du déplaceur.....               | 178 mm.                    | 254 mm.          | 254 mm.     |             |
| Sa course.....                           | 0 m. 279                   | 0 m. 330         | 0 m. 508    |             |
| Nombre de tours par minute.....          | 190                        | 142              | 132         |             |
| Puissance.....                           | } indiquée en chevaux..... | 8,68             | 17,38       | 27,46       |
|  |                            | } effective..... | 5,63        | 13,69       |
| Consommation de gaz par cheval-heure. {  | } indiqué.....             |                  | 685 litres. | 592 litres. |
|  |                            | } effectif.....  | 1056 —      | 752 —       |
| Compression dans le cylindre moteur..... | } déplaceur.....           |                  | 3 kg. 87    | 3 kg. 44    |
|  |                            | —                | 0 kg. 056   | 0 kg. 105   |

1. Dugald CLERK, *The gas and oil Engine*, page 191.



Le rendement organique ressort à 0,65; 0,79 et 0,04 pour ces trois moteurs : les moteurs à quatre temps réalisent aisément des rendements meilleurs.

La description que nous venons de faire nous permet maintenant de procéder à la classification des moteurs à deux temps.

Les machines puissantes constituent un groupe qui diffère des machines de moindre importance : les premières sont pourvues de pompes spéciales, tandis que les autres utilisent le cylindre moteur pour comprimer l'air de chasse.

Les puissants moteurs à deux temps possèdent généralement le déplaceur de Clerk; mais le plus souvent on fait usage de pompes à air et à gaz à double effet.

Dans les machines de moindre grandeur, l'air est comprimé par le piston moteur lui-même. Cette compression peut être opérée :

- 1° Dans le cylindre moteur lui-même;
- 2° Dans un réservoir spécial;
- 3° Dans le carter.

Mais il y a encore lieu de subdistinguer dans ces trois catégories : les gaz, comprimés une première fois, se détendent en passant dans la chambre de travail du cylindre moteur, ou bien ils y sont transvasés sous faible pression.

Il y a aussi lieu de distinguer entre les dispositifs destinés à produire l'élimination la plus rapide et la plus sûre des produits de la combustion : le plus communément employé est un déflecteur surmontant le piston; quelquefois on aspire les gaz brûlés hors du cylindre ou l'on utilise l'effet Atkinson.

Nous pouvons maintenant aborder les monographies des moteurs à deux temps.

Rappelons, pour mémoire, les moteurs Robson, Ravel, Benz, Bénier, qui ont eu du succès, mais dont nous avons déjà fait mention; nous n'en parlerons plus, car ils ont disparu de la scène du monde.

### 1. Moteur von Oechelhaeuser.

Ce moteur à haute compression est spécialement caractérisé par l'emploi de deux pistons opposés marchant en sens contraire dans un seul cylindre, conformément à une disposition déjà ancienne, qui avait été adoptée par Gilles, Robson, Atkinson, et bien d'autres.

Le premier brevet allemand est daté du 8 juillet 1892, la patente française a été prise le 16 novembre 1896. M. W. von Oechelhaeuser était alors directeur général de la Compagnie continentale allemande, à Dessau, et il s'était fait connaître depuis longtemps par ses travaux sur les moteurs à gaz; c'est lui qui, dès l'année 1887, créa une station d'électricité mue par des moteurs à gaz de grande puissance, prenant ainsi une initiative féconde dont les résultats ont été



des plus brillants; c'est lui encore qui a, le premier en Allemagne, trouvé le moyen d'utiliser les gaz de hauts fourneaux pour la production de la force motrice. Une note parue le 12 septembre 1896, dans le *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung* signalait déjà que des essais avaient été effectués à Hoerde en Westphalie, à la suite desquels on avait commandé à la *Berlin-Anhaltischer Maschinenbau Actien Gesellschaft* deux moteurs de 600 chevaux effectifs. Nous tenions à relever ces dates et ces chiffres pour tenter d'élucider la question intéressante des antériorités dans cette curieuse utilisation des gaz de hauts fourneaux. Ajoutons que M. von Œchelhaeuser a eu pour collaborateur M. Junkers, professeur au Polytechnikum d'Aix-la-Chapelle, bien connu par son calorimètre à combustion.

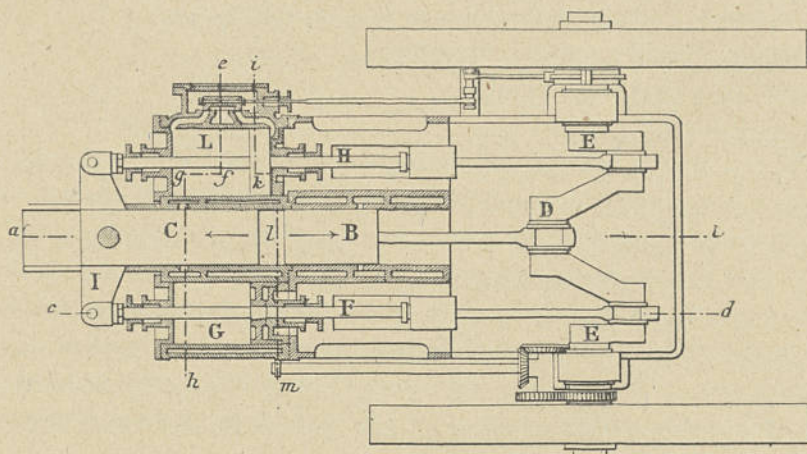


Fig. 233. — Moteur von Œchelhaeuser.

Le moteur primitif von Œchelhaeuser est représenté sur la figure 233, il était destiné spécialement aux grandes puissances et il devait fonctionner à des pressions explosives très élevées, atteignant 60 kilogrammes dans la pensée de l'inventeur; on éprouva à cet égard quelques déceptions. Le principe de cette machine était d'ailleurs basé aussi sur une expulsion complète des produits de la combustion et l'on prit, à cet égard, des dispositions qui devaient assurer ce résultat et conduire aux heureuses conséquences que l'on en espérait.

Le cylindre moteur de cette machine renferme deux pistons B et C, conjugués par les trois manivelles à 180°, D, E et E' d'un arbre à vilebrequin de très grande longueur; les manivelles E déterminent donc un mouvement contraire du piston postérieur par rapport au piston antérieur, relié à la manivelle D. Mais les tiges qui relient l'arbre à la tête I du piston D portent l'une et l'autre un piston à double effet, appelant et comprimant de l'air dans le cylindre L et du gaz dans le cylindre G. L'air est refoulé dans le réservoir R, ménagé dans le bâti de la machine, sous une pression de 0 kg. 4; le gaz est servi directement au cylindre A par la soupape *v*, visible sur la coupe de notre dessin.



Le plan fait voir les deux pistons B et C au moment où l'explosion se produit entre eux.

La décharge s'opère par des ouvertures annulaires, démasquées par le piston arrivé près de la fin de sa course; peu après, d'autres ouvertures ouvrent le chemin à l'air comprimé, qui prend le cylindre en diagonale et le parcourt dans toute sa longueur, refoulant devant lui les gaz brûlés et les expulsant complètement. Cette expulsion s'opère avec une grande rapidité et elle doit être satisfaisante, sans qu'il en coûte une grande dépense d'énergie. Au retour, les pistons emprisonnent de l'air pur entre eux et ils le compriment rapidement; la soupape *v* s'ouvre au moment voulu et le gaz combustible pénètre à son tour dans le cylindre. J'estime que le mélange du comburant et du combustible ne peut pas se faire suffisamment bien dans ces conditions et je crains qu'il n'en résulte des combustions imparfaites.

Il est à observer que le dispositif que nous venons de décrire a l'avantage de produire une détente très rapide des gaz de l'explosion, ce qui est un élément excellent de marche : d'autre part, on a évité dans la mesure du possible les pertes de gaz qui sont à redouter dans tous les moteurs à deux temps effectuant le balayage des produits. Ces dispositifs sont donc très louables à cet égard; ils ont d'ailleurs l'avantage d'une grande simplicité.

Les résultats obtenus avec cette machine ont été satisfaisants : on a parlé d'une consommation de 500 litres de gaz de ville par cheval-heure effectif pour un moteur d'une puissance de 80 chevaux; c'était en 1893, alors qu'on n'était point habitué à de si beaux rendements surtout pour les moteurs à deux temps. On aurait certainement obtenu beaucoup mieux encore, si la compression eût pu être établie à 60 kilogrammes, ainsi qu'on l'avait projeté d'abord; il est vrai qu'en cette matière, il est plus aisé de promettre que de tenir. En réalité, on comprimait à 6 kilogrammes au maximum. Il y a loin de la coupe aux lèvres!

Mais un plus beau succès était réservé à M. von Oechelhaeuser dans la voie nouvelle de l'emploi des gaz des hauts fourneaux : il fallut toutefois modifier la machine primitive. En effet, la pauvreté relative de ces gaz imposait de faire le mélange dans des conditions nouvelles, et de développer considérablement les dimensions du cylindre auxiliaire à air L; l'écartement des axes des cylindres augmentait donc notablement en même temps qu'on était amené à faire croître le travail de compression, ce qui mettait le vilebrequin de l'arbre de couche dans des conditions mécaniques défectueuses. On résolut d'effectuer le mélange dans le cylindre moteur et de l'y comprimer : cela permettait de supprimer les cylindres auxiliaires L et G. L'air comprimé nécessaire pour balayer le cylindre devait être fourni par un appareil spécial ou bien emprunté à la canalisation d'air comprimé qui se trouve dans tout établissement métallurgique; quant au gaz du haut fourneau, il serait aspiré par une petite pompe de secours disposée en tandem derrière le cylindre moteur et dans le prolongement de son axe. Une autre modification fut apportée ensuite dans la forme du cylindre moteur.



Au lieu d'y introduire le gaz combustible par une soupape, on l'y fait pénétrer par une seconde couronne d'ouvertures pratiquées dans la paroi circulaire, et débouchant sur un canal annulaire dans lequel le gaz est admis par une soupape commandée par le régulateur. Le gaz ne pénètre dans le cylindre qu'un instant après qu'un premier balayage a été opéré par l'air comprimé; il ne peut donc pas se produire de perte de ce chef.

Les inventeurs ont même prévu un dispositif permettant de mêler un peu d'air au gaz de la canalisation d'accès au cylindre; la diffusion du combustible dans le comburant sera ainsi rendue plus complète et la combustion mieux assurée.

En somme, cette nouvelle machine est une heureuse adaptation de la première à l'utilisation des gaz de haut fourneau.

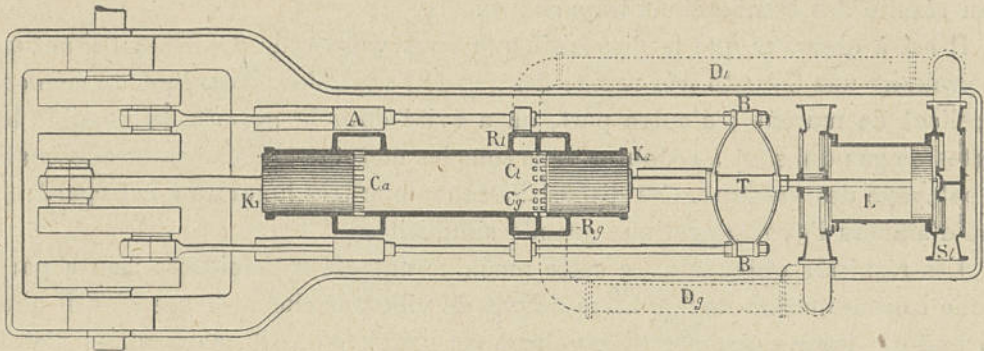


Fig. 234. — Moteur von Oechelhaeuser pour gaz de haut fourneaux.

La coupe de la figure 234 nous permet de décrire très clairement les dispositions mécaniques de ce moteur.

Le vilebrequin à trois coudes est relié directement au piston antérieur  $K_1$ , et indirectement au piston  $K_2$  par les longerons AB et la traverse T. Cette traverse commande aussi le piston du cylindre L, à double effet, placé dans le prolongement de l'axe du cylindre moteur dans lequel s'opère séparément la compression du gaz et de l'air. Appelé par  $S_1$ , l'air est refoulé suivant  $D_1$  dans la chambre annulaire  $R_1$ ; le gaz passe, au contraire, de  $S_2$  à  $R_2$  par  $D_2$ .

Prenons les pistons moteurs dans la position où les représente notre dessin, c'est-à-dire à fin de course; les gaz brûlés se sont d'abord échappés par la couronne d'ouvertures  $C_4$ ; en même temps, les ouvertures  $C_1$ , découvertes par le piston  $K_2$ , livraient passage à l'air comprimé renfermé dans la chambre  $R_1$ , qui effectuait le balayage et refoulait les gaz vers  $C_4$ . Le gaz admis par les orifices  $C_2$  s'y mêle bientôt et l'intervalle compris entre les pistons  $K_1$  et  $K_2$  se remplit de mélange, lequel est comprimé par le rapprochement des deux pistons. L'allumage s'effectue quand l'espace occupé par le mélange est minimum, et l'explosion refoule les deux pistons aux deux extrémités du cylindre moteur.



Au moment de leur introduction dans le cylindre, le gaz et l'air ont une pression effective d'environ un tiers d'atmosphère; la compression est poussée à 8 kilogrammes environ dans le cylindre moteur : avec un gaz à 1.000 ou 1.100 calories, la pression explosive atteint 25 atmosphères.

Le danger d'un tel cycle d'opérations réside dans la perte possible du mélange au moment où les orifices  $C_a$ ,  $C_g$  et  $C_i$  sont simultanément ouverts : l'inventeur prétend y parer en donnant au cylindre moteur une grande longueur et un diamètre relativement faible.

Le moteur de 300 chevaux a 480 millimètres de diamètre. Les courses des pistons sont de 0 m. 800; il fait 125 tours à la minute. On ne livre au cylindre moteur que les  $\frac{7}{10}$  de son volume de mélange. Le régulateur intervient en modifiant la richesse du mélange et son volume admis par coup moteur : à cet effet, il agit d'abord sur une valve placée sur la conduite du gaz et ensuite sur une soupape, permettant à une portion du mélange comprimé de faire retour vers le canal d'aspiration. On voit donc que le régulateur fait varier d'abord la qualité du mélange et qu'il n'agit qu'en second lieu sur la quantité admise.

Une machine double de ce système, d'une puissance de 600 chevaux, a été mise en marche aux usines de Hörde, en Westphalie, en janvier 1898; elle consommait environ 5 mètres cubes de gaz de haut fourneau, d'un pouvoir voisin de 1.000 calories, par cheval-heure effectif : c'était une grosse consommation !

Peu après, les ateliers de Bayenthal ont établi un moteur soufflant, débitant par minute 500 mètres cubes d'air, sous la pression de 0 kg. 54 par centimètre carré; le cylindre moteur mesure 775 millimètres de diamètre; la course du piston est de 0 m. 950; la machine fait 100 tours par minute. Le diamètre du cylindre souffleur est de 1 m. 840.

Le plus souvent, ces moteurs actionnent des dynamos génératrices de courant alternatif et leur parfaite régularité est hautement appréciée pour ce service; le coefficient d'irrégularité pour une machine jumelle est égal à  $\frac{1}{350}$ , et ce résultat est remarquable. A ce point de vue, le moteur von *Æchelhaeuser* occupe une situation éminente et nous pensons qu'il est au premier rang des moteurs à gaz de hauts fourneaux; au contraire, il est dépassé par ses concurrents au point de vue de la consommation (1).

De nombreuses maisons de construction, surtout allemandes, ont obtenu des licences pour le moteur von *Æchelhaeuser*, et lui ont fait subir quelques améliorations de détail. Des critiques avaient été faites relativement aux orifices d'échappement percés sur le pourtour du cylindre : on craignait qu'ils n'affaiblissent la résistance du cylindre. Ces craintes ne se sont point vérifiées et

1. Mémoires à consulter sur ce sujet : E. MEYER, *Grosse Gasmachines*, Berlin, 1900. *Der Æchelhaeuser-Motor*, Berlin, sans date, ni nom d'auteur.



nous ne connaissons aucun accident de rupture de cylindre. Le triple coudé avait soulevé quelques objections : mais l'emploi de l'acier Martin-Siemens a permis de construire des arbres très résistants.

On règle quantitativement. La compression étant alors variable, on y obvie à la façon de Charon : la charge entière est introduite au cylindre, mais le régulateur ouvre à temps voulu une soupape de retour, permettant à une partie du mélange de se remiser dans un réservoir auxiliaire.

La distribution est à déclic, suivant un agencement assez compliqué, qui ne mérite pas d'être décrit d'après un dessin.

Les ateliers de Borsig font usage de leurs soupapes brevetées, en acier mince, d'un poids extrêmement faible, découpées en forme de double spirale, appuyées sur leur siège par des ressorts arc-boutés contre une butée circulaire.

Cette maison a construit une machine soufflante, dont il est intéressant de connaître les caractéristiques.

|                                   |                  |   |
|-----------------------------------|------------------|---|
| Diamètre du cylindre :            | 675 millimètres. |   |
| Course des pistons.....           | {                | avant = 0 m. 952<br>arrière = 0 m. 948                          |
|                                   |                  | } totale = 1 m. 900.  |
| Pompe à air.....                  | {                | Diamètre = { piston avant = 90 millimètres.<br>— arrière = 70 — |
|                                   |                  | } Course = 0 m. 500.  |
| Pompe à gaz.....                  | {                | Diamètre = 590 millimètres.<br>Course = 0 m. 500.               |
| Nombre de tours par minute : 107. |                  |   |
| Puissance indiquée = 839 chevaux. |                  |   |

Le travail absorbé par les pompes, mesuré aux diagrammes, est de 83 chevaux. Sur la soufflante, il se développe 627 chevaux.

## 2. Moteur Kœrting.

La maison Kœrting, de Hanovre, s'est consacrée depuis de longues années à la construction des moteurs à gaz : sa réputation est solidement établie sur d'indiscutables succès. Elle avait augmenté progressivement la puissance de ses machines à quatre temps, pour aboutir enfin à un moteur monocylindrique de 150 chevaux, que nous avons décrit et qui avait conquis tous les suffrages des hommes du métier.

Or, MM. Kœrting, après avoir observé pendant cinq ans la marche de cette machine dans leurs ateliers de Kœrtingsdorf, ont renoncé à en développer la construction et, changeant brusquement d'orientation, ils ont demandé aux deux temps et au double effet la solution du problème des puissants moteurs. La conversion des célèbres constructeurs a fait sensation. Elle a constitué à l'époque un épisode important de l'histoire des moteurs à gaz.

Mais il ne faudrait pas en exagérer la portée, car la maison allemande n'avait



pas entièrement rompu avec les quatre temps, auxquels elle est revenue plus tard. Néanmoins, le fait méritait d'être retenu, attendu que les frères Kœrting ont établi quelques 100.000 chevaux par des moteurs à deux temps, construits par eux ou par leurs concessionnaires d'Allemagne et de tous pays, y compris les États-Unis d'Amérique.

Le moteur Kœrting à deux temps et à double effet donne, comme une

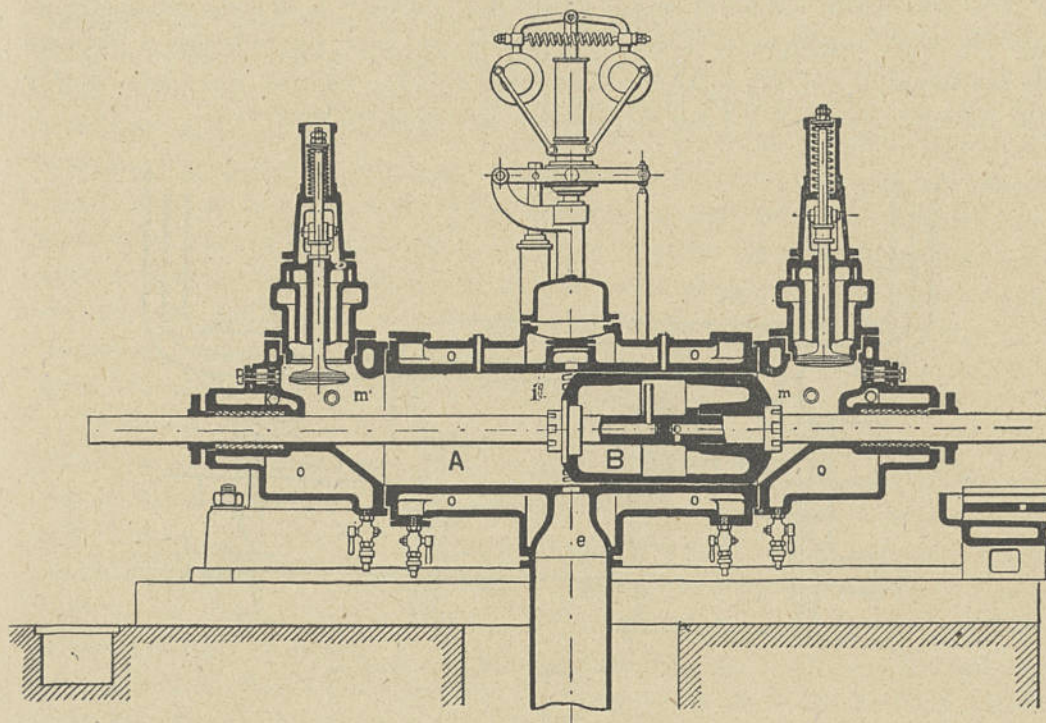


Fig. 235. — Moteur Kœrting à deux temps.

machine à vapeur, deux impulsions par tour; le régulateur agit comme celui des machines à vapeur, en proportionnant le volume de gaz tonnant admis au travail demandé; la marche de la machine est douce et silencieuse et la sécurité très grande. Voilà les arguments qu'on fait valoir en faveur du Kœrting. On ne parle pas de sa consommation; mais qu'importe aux métallurgistes de dépenser 3.800, 3.400 ou 3.000 litres de gaz de hauts fourneaux par cheval-heure effectif; la matière ne manque pas encore. Les Kœrting tournent trop lentement, dit-on, et ils sont par suite fort lourds; mais ce n'est qu'une question de métal; d'ailleurs, la machine y gagne en stabilité et en robustesse; enfin il serait bien aisé de faire développer au piston une vitesse linéaire de 4 m. 50 au lieu de 3 m. 75, si on y tenait absolument, mais le constructeur déconseille cette vitesse qu'il croit excessive. On avait réponse à tout!

Passons à la description du moteur.

La figure 235 donne la coupe du cylindre moteur.



Dans l'intérieur d'un cylindre A, fermé à ses deux extrémités, se meut un long piston B, dont la double tige, guidée dans deux stuffing-box étanches, appuie sa crosse sur une table de large portée. Deux pompes auxiliaires C et D à double effet et à tige commune commandée par la bielle H, qui reçoit son mouvement d'un plateau-manivelle claveté sur l'extrémité de l'arbre moteur, sont chargées de comprimer l'air et le gaz séparément; les conduites *c* et *a*, *c'* et *a'* conduisent cet air et ce gaz au cylindre moteur; le mélange est distribué par les deux soupapes *m* verticales, placées au bout du cylindre. L'attaque de ces soupapes est effectuée par deux longs leviers obliques; une came, portée par un arbre parallèle à l'axe du cylindre, actionne ces leviers.

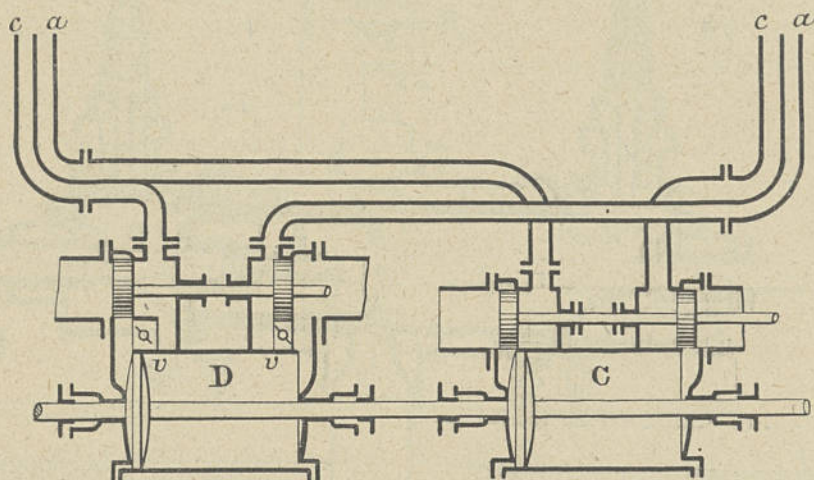


Fig. 236. — Schéma du moteur Keerting.

Le schéma de la figure 236 montre l'agencement des pompes C à air et D à gaz; leurs tiroirs sont cylindriques, et ils reçoivent leur mouvement par un système de balanciers et de tringles disposés à la façon habituelle.

Il est à noter que les tiroirs sont placés en dessous des cylindres et non pas sur leur côté, comme le montre le schéma.

Le fonctionnement de la machine est le suivant :

Le piston B est représenté sur notre figure à fond de course arrière; il vient de découvrir par sa face avant les ouvertures de décharge *i*; les produits de la combustion ont été évacués rapidement et la pression dans le cylindre n'est guère supérieure à celle de l'atmosphère. A ce moment, la soupape d'admission de l'avant est soulevée et la pompe C envoie d'abord dans le cylindre une chasse d'air pur, pour le balayer; puis un tiroir de la pompe D livre passage au gaz et le cylindre se remplit de mélange tonnant; mais le régulateur, en agissant sur le tiroir de la pompe D, ne livre que la quantité nécessaire de gaz combustible et maintient l'équilibre entre le travail moteur et le travail résistant.

En revenant en arrière, le piston recouvre les orifices d'échappement et



comprime le mélange : l'allumage s'effectue au point mort et le piston reçoit son impulsion motrice par sa face antérieure. On suit dès lors aisément les phases du fonctionnement; les mêmes phénomènes se reproduisent dans le même ordre sur l'autre face du piston.

En somme, rien de neuf ni dans le cycle, ni dans le moteur Kœrting, dans lequel se retrouvent tous les éléments du moteur Clerk, y compris la couronne annulaire des orifices d'échappement : le balayage des gaz brûlés s'effectue selon le même principe. Mais tout cela forme un ensemble complet qui a été bien étudié par les ingénieurs allemands, parfaitement agencé et très bien construit. Les précautions ont été multipliées à l'effet d'assurer une bonne marche; le cylindre et le piston sont refroidis l'un et l'autre par une circulation d'eau; les culasses et les boîtes à soupapes sont de même soigneusement réfrigérées par un courant d'eau; le piston moteur est parfaitement guidé et soutenu par de longs stuffing-box et de grandes glissières; l'accès et le départ des gaz est facilité par des conduites largement calculées et heureusement disposées : en un mot, tous les organes sont adaptés à leur fonction et établis pour la remplir dans les meilleures conditions.

Quelques détails de construction sont à signaler. Le cylindre moteur est fermé par des culasses, portant la boîte à soupapes et le presse-étoupes, ainsi que la fusée d'allumage; elles sont boulonnées sur les larges portées du corps cylindrique, comme le sont les fonds de cylindre de quelques machines Corliss ou Sulzer, dont on retrouve du reste un certain nombre de dispositifs dans ce moteur. Le démontage des culasses s'effectue sans qu'on ait à rien modifier à la distribution. Le piston, d'une grande longueur, est muni de segments vers ses deux extrémités. La soupape fait joint sur son siège de bas en haut; elle est donc autoclave : un ressort de rappel avec *dashpot* la ramène du reste sur son siège et il suffit d'un faible effort pour effectuer sa levée, à la suite de l'ouverture des orifices d'échappement.

Les pompes latérales à double effet ont toutes deux même course, mais non pas même diamètre, leurs sections étant calculées pour que le mélange tonnant soit dosé comme il convient pour chaque espèce de gaz. Leurs pistons arrivent au point mort au moment même où le piston achève de recouvrir la couronne des trous d'échappement. Si la théorie des tranches était vraie, il y aurait un matelas d'air entre le piston et le mélange tonnant; on a du moins eu l'intention de constituer ce matelas. Faisons remarquer que les volumes d'air et de gaz refoulés par les courses en avant des pompes sont envoyés dans la partie antérieure du cylindre moteur; de même pour les courses et la partie arrière (1).

En fermant la vanne d'admission du gaz et en retardant l'allumage, on arrive à ralentir notablement la vitesse du moteur. Le régulateur règle automatiquement la vitesse de régime de la manière qui suit : il fait varier le volume de

1. La mise en marche du moteur s'obtient automatiquement par de l'air comprimé qu'un tiroir spécial de distribution fait agir sur les deux faces du piston moteur.



gaz combustible admis au cylindre moteur en ouvrant un *by-pass*, qui ramène une partie du volume de gaz comprimé dans la tuyauterie d'amenée. La vanne *v* est visible sur la figure 236.

Les diagrammes relevés sur les moteurs Kœrting sont identiques à ceux des moteurs à deux temps donnés ci-dessus : la pression de compression est de 9 kilogrammes environ et la pression explosive atteint souvent 30 kilogrammes : la détente n'est jamais complète, l'échappement ayant lieu alors que les gaz brûlés ont encore 2,5 kilogrammes de pression. Dans les meilleures conditions, la pression moyenne d'un diagramme est de 6 kg. 5.

Les dimensions d'un moteur monocylindrique de 500 chevaux sont les suivantes :

|  |           |
|--|-----------|
| Diamètre du cylindre.....                | 635 mm.   |
| Course du piston moteur.....             | 1 m. 100  |
| — des pistons des pompes.....            | 0 m. 600  |
| Diamètre du cylindre à gaz.....          | 690 mm.   |
| — — à air.....                           | 750 mm.   |
| — du tourillon de l'arbre de couche..... | 370 mm.   |
| — — du vilebrequin.....                  | 320 mm.   |
| — de la soupape d'admission du gaz.....  | 300 mm.   |
| Distance d'axe en axe des soupapes.....  | 2 m. 860  |
| Diamètre du tuyau de décharge.....       | 400 mm.   |
| — du volant.....                         | 5 m. 120  |
| Son poids.....                           | 12 tonnes |
| Poids total du moteur.....               | 70 —      |

Avec une vitesse moyenne de 100 révolutions, le coefficient d'irrégularité égale  $\frac{1}{30}$  d'après M. Humphrey : cet ingénieur attribue  $\frac{1}{80}$  à un moteur monocylindrique à quatre temps, de même puissance et vitesse.

On peut réduire à volonté la vitesse de régime du moteur de 120 à 30 tours par minute en agissant sur le réglage : ce détail particulier aux moteurs à deux temps présente un grand intérêt pour la sidérurgie.

Les prospectus signalent un moteur actionnant une soufflante qui débite par heure de 300 à 500 mètres cubes d'air sous une pression de 0 kg. 7 à 0 kg. 4. Le diamètre de son cylindre est de 1 m. 750, sa course est celle du moteur, soit de 1 m. 100. La longueur totale de l'ensemble est de 16 mètres; sa largeur est de 5 mètres environ.

Nous n'avons pas de données sérieuses sur la consommation de ces moteurs; nous serions peut-être mieux documentés, si les résultats obtenus avaient été très brillants. Le rendement organique est médiocre.

Les tenants des moteurs à deux temps sont moins réservés, quand on les interroge sur le service des moteurs Kœrting, lequel est réellement d'une grande facilité. On nous a fait savoir qu'à Oberhausen, on a pu marcher six mois sans nettoyer les pistons et cylindres; il suffisait tous les quinze jours d'une visite sommaire des soupapes, et cette opération durait deux heures. A l'usine



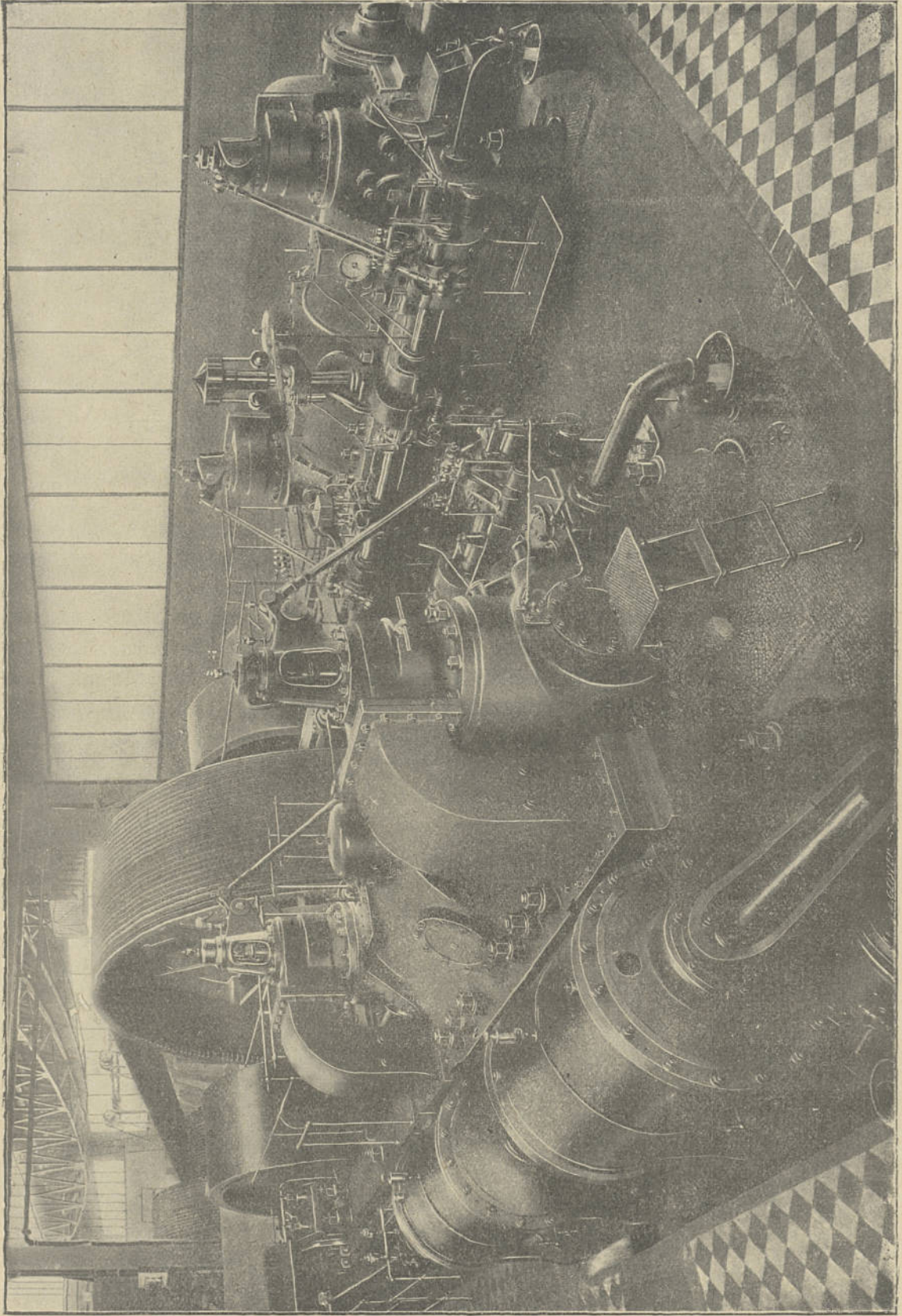


Fig. 237. — Moteur Koerting-Dahlbruch.



de la Niederrheinische Hütte, à Duisbourg, où l'épuration du gaz était plus parfaite, on a obtenu de meilleurs résultats encore. Le moteur y marche jour et nuit.

Les collaborateurs de M. Kœrting n'ont, en général, pas modifié le type primitif du moteur à deux temps; ce n'est pas à dire pourtant que certaines améliorations de détail n'aient pas été apportées dans ces machines.

Plusieurs ont supprimé l'arbre latéral de distribution en commandant directement les organes; il en est résulté une simplification de l'aspect extérieur. Les pompes à air et à gaz ont aussi été modifiées assez heureusement par divers constructeurs.

La figure 237 représente les formes d'ensemble d'un groupe électrogène sorti des ateliers de Dalbruch : les ingénieurs de cette maison se réservent quelquefois le moyen de réchauffer le cylindre moteur par un courant de vapeur circulant dans l'enveloppe, après que les machines ont eu à subir de longs arrêts. Cette idée originale est rationnelle et son application témoigne en faveur de la théorie des actions de paroi.

MM. de la Vergne, de New-York, qui ont vendu plus de 40.000 chevaux pour soufflantes et 11.000 pour groupes électrogènes, et peuvent être compris parmi les plus importants constructeurs du Kœrting à deux temps, ont apporté une modification intéressante au type classique dans la construction de la soupape à gaz du cylindre moteur, qui est placée directement sous la dépendance du régulateur. Le compresseur d'air alimente le cylindre moteur durant toute la course de son piston; mais celui-ci peut refouler de nouveau le gaz qu'il renferme pendant près de la moitié de sa course, parce qu'à ce moment une soupape s'ouvre sur la conduite d'amenée de ce gaz. Cette soupape, dont le mouvement obéit au régulateur, se referme sous son action, limitant ainsi le volume de gaz admis. De la sorte, le réglage n'est plus effectué en agissant sur l'aspiration de la pompe à gaz, mais bien en soumettant au régulateur le mouvement de la soupape d'admission du cylindre moteur lui-même.

On a répondu ainsi à une objection faite au mode de régulation de ces moteurs à deux temps : on lui reprochait de ne laisser agir le régulateur qu'avec un retard déterminé et de permettre par suite une variation notable de la vitesse, si le couple résistant venait à changer dans l'intervalle. On réglait par deux moyens, soit par un retard du refoulement de la pompe à gaz, soit par l'établissement d'une communication entre le refoulement et l'aspiration de la pompe à gaz. Un papillon ou un piston-valve, commandé par le régulateur, effectuait cette communication; de la sorte, une certaine quantité de gaz repassait de la conduite de refoulement à celle d'aspiration et elle était remplacée par l'air. Des modifications ont été apportées à cet état de choses de diverses manières, et dans les derniers modèles de moteurs des dispositions sont prises pour que tout déplacement du régulateur, survenu après l'aspiration de la pompe à gaz, puisse encore laisser venir du gaz au cylindre moteur.



MM. Pokorny et Wittekind ont proposé aussi de remplacer la pompe à gaz par un injecteur : en effet, de l'air ayant une pression de 0 kg. 2 à 0 kg. 7 et s'écoulant continûment par un orifice approprié, peut entraîner au moins le double de son volume de gaz; mais cette modification a été fort discutée et elle est réellement discutable. L'emploi d'un injecteur peut présenter quelque avantage au point de vue de la disposition générale des machines, mais il est douteux qu'il en résulte une amélioration du rendement organique. Il faut remarquer que l'énergie mise en œuvre dans l'injection est empruntée à l'air comprimé par une pompe, qui se trouve avoir une puissance plus grande à développer. Le travail accessoire de chargement ne saurait par conséquent être diminué. Cette considération paraît décisive.

Cette question du travail absorbé par la compression de l'air et du gaz et du chargement du mélange a donné lieu à de nombreuses discussions entre les ingénieurs allemands. Les constructeurs ont pris à tâche de réduire cette dépense, et un certain succès a couronné leurs efforts. On peut juger des résultats obtenus par les chiffres qui suivent. Le professeur E. Meyer avait estimé que, pour un moteur de 300 chevaux, le travail de chargement en air et gaz (*Ladearbeit*) s'élevait à 11,6 % à pleine charge, relativement à la puissance indiquée brute; M. Strack (1) avait trouvé, en 1904, pour un moteur de 600 chevaux, faisant 80 tours à la minute, 16,6 %; ce pourcentage se réduisait à 12,53 lorsque la machine travaillait aux  $\frac{4}{5}$  de sa charge en faisant 57,6 révolutions par minute. Aujourd'hui on n'estime plus qu'à 6 à 7 % ce travail (2); il en résulte donc une amélioration sensible du rendement organique.

| INSTALLATIONS                                     | TYPE         | PUISSANCE<br>EFFECTIVE<br>en chevaux | ALÉSAGE<br>du<br>CYLINDRE | COURSE<br>du<br>PISTON | VITESSE<br>EN TOURS<br>par minute |
|---|--------------|--------------------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| GROUPES ÉLECTROGÈNES                              |              |                                      |                           |                        |                                   |
| Bochumer Verein.....                              | 1 cylindre.  | 700                                  | 750                       | 1,100                  | 100                               |
| Phoenix Hütte (Laar).....                         | —            | 750                                  | 750                       | 1,300                  | 90                                |
| Bochumer Verein.....                              | —            | 700                                  | 800                       | 1,200                  | 80                                |
| Mansfeld'sche Gewerkschaft.....                   | 2 cylindres. | 1.300                                | 820                       | 1,300                  | 83                                |
| MACHINES SOUFFLANTES                              |              |                                      |                           |                        |                                   |
| Bochumer Verein.....                              | 2 cylindres. | 1.400                                | 775                       | 1,800                  | 80                                |
| F. Krupp, à Essen.....                            | —            | 1.600                                | 800                       | 1,750                  | 80                                |
| Eisenwerk Hoesch.....                             | —            | 1.400                                | 800                       | 1,400                  | 65                                |
| —.....  | —            | 1.600                                | 800                       | 1,400                  | 80                                |
| Aachener Hütten-Verein.....                       | 1 cylindre.  | 900                                  | 875                       | 1,400                  | 80                                |
| Bochumer Verein.....                              | 2 cylindres. | 1.900                                | 860                       | 1,300                  | 80                                |
| The Fradingham Iron Co.....                       | 1 cylindre   | 1.050                                | 900                       | 1,400                  | 70                                |
| Gutehoffnungshütte.....                           | —            | 950                                  | 900                       | 2,100                  | 62,5                              |
| Les Petits-Fils de Wendel et C <sup>ie</sup> .... | —            | 600                                  | 775                       | 1,300                  | 70                                |

1. *Stahl und Eisen*, 1904, page 1.306.  
 2. *Stahl und Eisen*, 1906, page 1.116.



Les moteurs Kœrting que nous venons de décrire se sont prêtés avec succès aux applications les plus nombreuses et les plus variées.

Un des plus actifs concessionnaires du brevet, la M. A. G. de Dahlbruch, a publié une liste de références, dont nous donnons ci-dessus quelques extraits, qui témoignent de la large clientèle des deux temps.

MM. Kœrting et leurs concessionnaires se sont fait aussi une spécialité des élévations d'eau, et de nombreuses machines ont été construites à cet effet; signalons entre autres les usines de la Société hydraulique de Berlin.

En Amérique, ce sont les moteurs Kœrting qui ont été appliqués les premiers à l'utilisation directe du gaz de hauts fourneaux; d'après M. Mathot, à qui j'emprunte ce renseignement, on monta d'emblée une installation de 42.000 chevaux, qui fut exécutée par la Vergne Refrigerating Co de New-York, pour la Lakawana Iron and Steel Co. Cette Centrale fut longtemps la plus importante du monde.

La maison Leflaive et C<sup>ie</sup>, de Saint-Étienne, avait obtenu une licence de construction des moteurs Kœrting à deux temps.

### 3. Moteur Mather et Platt.

Cette maison a considérablement modifié le moteur Kœrting, dont elle avait acquis une licence de construction.

On avait sans doute l'intention de réaliser un perfectionnement de la machine; il s'est traduit surtout par une intéressante simplification de l'ensemble.

Les trois pompes, disposées latéralement au cylindre moteur, sont disposées sur un même axe et leurs pistons calés sur une même tige. La pompe à gaz, à double effet, est placée entre les deux pompes à air à simple effet. Les boîtes d'admission, logées entre les cylindres des pompes, sont coupées en deux par une cloison; le fonctionnement des soupapes est automatique. Le piston à gaz creux porte lui-même des soupapes automatiques, et il est pourvu d'ouvertures périphériques; il prend le gaz par des lumières, percées dans la paroi de son cylindre, et l'introduit alternativement à la partie avant et arrière de la pompe, à chaque course d'aspiration. Suivant que le gaz est plus ou moins pauvre, on règle la position du piston de manière à effectuer une compression plus ou moins grande.

Étudions maintenant le cylindre moteur. Il porte à chaque extrémité une soupape supérieure, commandée par une paire de leviers de roulement dont l'un est sous la dépendance du régulateur, qui opère quantitativement. Le mouvement est pris sur l'arbre coudé, muni d'excentriques, et transmis par une bielle oblique. Il n'y a donc plus d'arbre latéral de distribution.

Cette machine a reçu en Angleterre d'assez nombreuses applications en filature, et l'on a relevé une remarquable régularité cyclique.



#### 4. Moteur Buckeye.

On critique souvent le rendement organique des moteurs à deux temps, conçus d'après les types précédents; on l'améliore évidemment en assignant à une face du piston moteur ou à sa crosse la fonction de comprimer l'air et le gaz, ainsi que cela se faisait, par exemple, dans le moteur Benz : telle est l'idée dominante du système Buckeye.

Le gaz combustible est aspiré par un petit piston-valve, placé sur le côté, et refoulé dans la partie antérieure du cylindre moteur, où il rencontre l'air nécessaire à la formation du mélange tonnant.

L'air de balayage est aspiré et refoulé par la crosse, qui présente la forme d'un piston plongeur; il est admis sur la face arrière du piston, à travers une soupape placée au bas de la culasse du cylindre.

La soupape d'admission est disposée au-dessus de la précédente, dans le prolongement de son axe. Le piston comprime lui-même la charge. L'évacuation des gaz brûlés s'effectue à l'ordinaire, par une couronne d'orifices percés dans la paroi et découverts par le piston.

Le réglage est à la fois quantitatif et qualitatif : le régulateur agit sur une soupape équilibrée, installée entre le cylindre à admission de gaz et la partie antérieure du cylindre moteur, où le mélange subit une première compression.

Les machines Buckeye sont toujours composées de deux moteurs jumelés, dont le rendement organique atteindrait 85 %.

#### 5. Moteur Vogt (1).

Je crois devoir mentionner ici ce curieux moteur, à deux temps, à double effet, dans lequel une couche d'eau est interposée dans le cylindre moteur entre la charge tonnante et le piston. L'impulsion motrice s'exerce donc sur une surface liquide, qui la transmet au piston. La présence du liquide assure l'étanchéité du piston et dispense de le graisser, tout en supprimant aussi l'enveloppe de réfrigération, devenue inutile.

Les chambres de combustion, situées aux deux extrémités du cylindre, sont verticales et elles portent, à leur partie supérieure, les soupapes d'admission de gaz et d'air et celle de décharge, ainsi que la bougie d'allumage. L'air et le gaz sont comprimés à part par des pompes : une conduite d'eau sous pression injecte une certaine quantité de liquide, à chaque coup de piston, dans chaque chambre. A la base de ces chambres se trouve une valve d'eau, communiquant avec une conduite munie d'une soupape de sûreté; cette valve a pour fonction

1. *Engineering*, n° 1.984, et *l'Éclairage électrique*, 16 juillet 1904.



de régler la quantité d'eau conservée dans les espaces morts, d'après la quantité de mélange à admettre et à comprimer.

Le fonctionnement est le suivant : le piston étant à fond de course, la chambre est remplie d'eau en grande partie, et le mélange comprimé occupe l'espace supérieur; l'étincelle ayant jailli, l'eau est refoulée et le piston avance sous cet effort; quand il approche de l'extrémité opposée du cylindre, l'échappement de la chambre s'ouvre et la pression retombe à celle de l'atmosphère. Aussitôt après, la soupape d'air livre passage à une chasse d'air, qui balaie la chambre. La valve d'eau laisse fuir une certaine quantité d'eau pendant la marche rétrograde du piston, une nouvelle charge de mélange est admise, etc.

A pleine charge, le volume d'eau que laisse fuir la valve est maximum; il diminue, sous l'action du régulateur, quand la machine a moins de travail à effectuer, et il y a moins de mélange admis dans la chambre. Mais les choses sont réglées de telle façon que, à demi-charge aussi bien qu'à charge pleine, la compression soit la même.

La pression explosive peut atteindre 42 kilos, et l'on a observé des pressions moyennes de 6 kg. 79, qui sont intéressantes : il n'y a pour ainsi dire pas de limite pour la compression, aussi a-t-on relevé des consommations de 368 litres de gaz de la ville de Londres par cheval-heure effectif. Les sources auxquelles nous puisons ces renseignements ne font pas connaître le pouvoir du gaz de Londres employé.

Un moteur de 80 millimètres d'alésage de cylindre, 0 m. 150 de course de piston, faisant 100 tours par minute, a développé près de 2 chevaux effectifs.

Il a été question de construire un moteur de 1.000 chevaux de ce système, mais nous ne savons quelle suite a été donnée à ce projet.

On peut se demander comment s'effectue l'allumage dans ce cylindre, dont la culasse est inévitablement battue par l'eau. Les mouvements de ce liquide doivent lui nuire, en même temps que l'inertie de cette masse fait naître sans doute bien des difficultés, dans son mouvement alternatif.

## 6. Moteur Froment.

Ce moteur présente quelques particularités qui méritent d'être décrites : notamment, il est pourvu d'une soupape d'échappement. Il se distingue du reste par des conditions de simplicité intéressantes.

Prenons le piston au moment où il va de la culasse à l'avant du cylindre; le mélange tonnant aspiré à travers une soupape automatique et comprimé dans le fond du cylindre, est enflammé et il actualise son énergie dans l'impulsion donnée au piston. Arrivé à moitié course, celui-ci découvre une série d'orifices pratiqués sur une section droite du cylindre et débouchant dans un conduit



annulaire, fermé par une soupape d'échappement; une première décharge se produit pendant un temps très court, mais suffisant pour que la pression devienne égale à la pression atmosphérique. Mais la soupape se referme aussitôt et, le piston continuant d'avancer, un vide partiel se produit, lequel a pour effet de faire lever la soupape automatique d'admission et d'aspirer dans le cylindre du mélange tonnant, qui reste confiné dans la culasse. Arrivé à fond de course, le piston recule, l'aspiration se referme et, comme la soupape d'échappement se rouvre de nouveau à ce moment, le reliquat des gaz brûlés se trouvant contre le piston est expulsé par les orifices de la paroi. Le niveau de ces orifices étant dépassé, le mélange se trouve comprimé et le cycle s'achève avec le retour du piston à fond de course.

Les deux temps du fonctionnement de la soupape de décharge sont obtenus par une came à deux bossages. Or, celle-ci est de profil oblique et elle est déplacée par le régulateur. La vitesse du moteur s'accélérait, la came n'ouvre la soupape qu'aux  $\frac{3}{4}$  de la course-avant, par exemple, au lieu de le faire à mi-course, et elle ne la ferme qu'aux  $\frac{3}{4}$  du retour; il y a donc un moindre volume de mélange tonnant admis dans le cylindre, mais en même temps sa compression décroît. La détente a augmenté, c'est vrai, mais la compression a diminué du même coup: c'est le point faible théorique de l'idée de l'inventeur, qui connaissait évidemment le moteur Charon.

La série d'opérations suppose aussi que les gaz se stratifient en tranches, qui ne se mêlent pas, ce dont il est permis de douter. Cette objection a été faite à tous les moteurs de ce genre et la pratique a montré trop souvent qu'elle était fondée.

M. Froment a eu l'idée de faire une culasse sans circulation d'eau, isolée du corps du cylindre par un joint d'amiante mauvais conducteur, dans laquelle le piston pénètre sans en toucher la paroi: c'est le dispositif de Lenoir.

On améliore ainsi le rendement en activant la combustion et en diminuant l'action de paroi; l'allumage se fait aussi dans de meilleures conditions. Le dispositif d'ensemble est d'ailleurs simple et ingénieusement combiné.

Malgré cela, il est à craindre que ce moteur ne paie encore son tribut, comme ceux qui l'ont précédé, à l'erreur commise en admettant une stratification rigoureuse, et nous craignons qu'il ne soit pas économique, d'autant qu'il fait une compression trop modérée.

Ce moteur était exposé à Vincennes, en 1900, par MM. Neuberger et C<sup>ie</sup>, constructeurs à Paris.



### 7. Moteur Chorlton.

Cette machine a fait l'objet d'une communication à l'Iron and Steel Institute, à la date du 2 octobre 1912; *la Technique moderne* en a donné une étude succincte, à laquelle nous empruntons les détails qui suivent (1).

Le moteur est constitué par deux cylindres, formés de deux tubes en V accolés par leurs branches ouvertes; ils sont reliés par des joints à lanterne renfermant des lumières d'admission et d'échappement.

On obtient de la sorte un moteur à deux temps, vertical, qui marche en duplex et réalise une grande puissance, pour un très faible encombrement; on a équipé une station centrale de 10.000 chevaux, qui ne couvre que 1.000 mètres carrés, alors qu'il faudrait 1.571 mètres carrés avec des moteurs horizontaux à quatre temps. Un moteur Chorlton de 6.000 chevaux, dont les cylindres ont 1.090 millimètres de diamètre pour 0 m. 91 de course de piston, faisant 140 tours par minute, occupe un espace de 13 m. 80 sur 3 m. 10. L'inventeur prétend qu'il pourrait construire une machine de 16.000 chevaux avec des cylindres de 1.220 millimètres d'alésage et 2 m. 20 de course de piston.

Des excentriques, calés à l'extrémité de l'arbre moteur, actionnent des pompes à air et à gaz verticales, mises sous la dépendance du régulateur.

On fonctionne à des pressions et des températures élevées : l'absence de toute saillie dans les chambres de combustion élimine les risques d'allumage prématuré. D'autre part, les vitesses des pistons sont considérables. Il en résulte un remarquable rendement, que nos théories permettaient de prévoir.

Les essais suivants en témoignent :

|  |                 |
|--|-----------------|
| Diamètre du piston.....                                | 394 mm.         |
| Course.....  | 0 m. 457        |
| Rendement organique.....                               | 85 %            |
| Consommation de calories par cheval-heure indiqué..... | 2.646 calories. |
| — d'eau par cheval-heure indiqué.....                  | 18. litres.     |
| — d'huile de graissage par cheval-heure indiqué.....   | 0 l. 0073       |

Les renseignements que nous possédons sur cette création des ingénieurs anglais sont évidemment insuffisants pour formuler un jugement indiscutable, mais ils présentent un grand intérêt théorique et pratique.

### 8. Moteur Sautter-Harlé.

En dehors des moteurs à deux temps que nous venons de décrire, qui se prêtent au développement de grandes puissances, on en a imaginé un grand nombre d'autres; parmi ceux-ci, il en est dont la destination spéciale est l'auto-

1. *La Technique moderne*, tome V, page 422, 1<sup>er</sup> décembre 1912.



mobilisme et l'aviation. Nous en décrivons quelques-uns à cette place, nous réservant de compléter plus tard ces descriptions (1).

Le moteur Sautter-Harlé a un mérite que ne possèdent pas la plupart de ceux que l'ingéniosité inlassable et inépuisable des inventeurs français a conçus en ces dernières années, le mérite d'avoir été construit et essayé.

Il appartient au genre des moteurs comportant un piston à deux diamètres se déplaçant dans un cylindre à double alésage. Le cylindre de plus grand diamètre joue le rôle de pompe aspirante et foulante, par la partie annulaire du piston; le petit cylindre constitue la chambre de travail. Lui seul est entouré d'une chemise d'eau. Le petit piston découvre successivement dans sa course deux orifices, l'un d'admission du mélange, l'autre ouvrant un chemin au départ des gaz brûlés.

La pompe est desservie par deux tiroirs cylindriques à ouvertures latérales, commandés par un arbre auxiliaire tournant à une vitesse angulaire moitié moindre que celle de l'arbre principal. Le premier de ces tiroirs admet le mélange dans la pompe annulaire, l'autre le refoule sous pression, dans un collecteur dont le volume est plus grand que celui d'une cylindrée. Le fonctionnement du petit piston moteur est facile à suivre. L'explosion venant de se produire, ce piston descend et découvre l'orifice d'échappement; la décharge a lieu. L'orifice d'admission est découvert ensuite, et le mélange gazeux vient frapper un déflecteur, porté par le piston, qui le dirige vers le fond de la culasse. Le mélange gazeux frais ainsi admis chasse les gaz brûlés restés dans le cylindre.

Ce moteur est généralement bicylindrique.

### 9. Moteur Legros.

Dans ce moteur, nous retrouvons deux cylindres, mais ils sont superposés : ils renferment deux pistons, l'un P, qui est mobile, l'autre K fixe. Le premier est connecté par la bielle B à la manivelle du coudé; l'autre, immobile, renferme un canal C, qui lui sert de support et fait passer le mélange dans une chambre T placée sur le côté du cylindre. C'est entre les deux pistons que s'effectue la compression du mélange : l'obturateur tournant R établit à temps voulu la communication entre T et C. L'admission dans le cylindre, au-dessus du piston mobile, se fait par ce piston lui-même, qui découvre une lumière *d* pratiquée dans la paroi du cylindre; la décharge s'effectue comme d'habitude par un orifice de la paroi. Le déflecteur, avec lequel nous avons déjà fait connaissance ci-dessus, implanté sur la partie supérieure du piston, empêche le mélange de

1. Nous renverrons le lecteur désireux d'approfondir ces études à l'excellent petit livre publié, en 1912, par M. Ventou-Duclaux sous le titre : *les Moteurs à deux temps, moteurs à explosion destinés à l'automobilisme et l'aviation*; l'auteur y mentionne de nombreux brevets dont quelques-uns seulement ont été exécutés, les autres étant restés à l'état de projet.



gagner l'échappement; c'est l'organe classique de tous les moteurs à deux temps : on lui prête le résultat espéré. La bougie *b*, logée à la partie supérieure du cylindre, détermine l'allumage.

Il est facile dès lors de se rendre compte du fonctionnement de ce moteur; dans l'ascension du piston *P*, la valve rotative *R* laisse passer le mélange, qui est comprimé dans la descente de *P* et transvasé encore par *R* au-dessous du piston moteur, où il explose; la décharge se fait par *O* dans le collecteur *E* à auto-éjection.

Le moteur Legros se construit jusqu'à des puissances de 12 chevaux par deux cylindres de 140<sup>m</sup>/<sub>m</sub> d'alésage, 0 m. 120 de course et 700 tours par minute : il a reçu d'heureuses applications agricoles. Mais on l'a surtout apprécié pour la propulsion des voitures et des embarcations : il a remporté un grand succès au concours des moteurs à deux temps, organisé par l'A. C. F., et s'est particulièrement signalé au concours d'endurance, Paris-Monte-Carlo. Contrairement à ce qui se passe le plus souvent dans les deux temps, la consommation n'est pas exagérée, attendu qu'elle n'est que de 380 à 410 grammes d'essence par cheval-heure effectif.

### 10. Moteur Tony Huber et Peugeot.

Moteur vertical construit spécialement en vue de son application en automobilisme.

On retrouve dans cette machine tous les éléments habituels des deux temps : compression du mélange tonnant dans le carter par la face inférieure du piston; distribution effectuée par le piston, démasquant des orifices percés dans la paroi du cylindre; forme particulière de la face supérieure du piston ayant pour objet de séparer les gaz de l'admission des gaz brûlés et d'effectuer la substitution de ceux-là à ceux-ci. Ces divers offices sont réalisés d'une façon assez neuve.

Le mélange d'air et d'air carburé admis par *S* (fig. 238) pénètre sous le piston par l'orifice *A* à travers une ouverture pratiquée dans le piston; dans le mouvement de descente de ce piston, la compression s'effectue dans la portion supérieure du carter limitée par la glissière *G*; celle-ci est traversée par la bielle et elle l'accompagne dans son oscillation pendulaire autour de la verticale. On a réussi de la sorte à réduire considérablement le volume dans lequel les gaz tonnants sont comprimés.

Lorsque le piston est arrivé au bas de sa course, une communication s'établit par *AB* avec la partie supérieure, et le mélange est transvasé du carter dans le cylindre : une sorte de cuiller le dirige verticalement le long de la paroi de gauche, tandis que le congé, pratiqué sur la face supérieure du piston, fait



évacuer les gaz usés par l'orifice C; il y a une certaine avance à la décharge sur l'admission par suite de la position respective des orifices B et C et de la forme du piston. En remontant, le piston obture les lumières A et C et la compression s'opère à nouveau; l'allumage effectué au point mort supérieur provoque l'explosion et, par suite, la descente du piston.

Le piston est en aluminium pour augmenter sa légèreté; la bielle traverse un joint à rotule de la glissière et assure ainsi une certaine étanchéité, qui n'a pas besoin d'être très grande, puisque la compression est complétée dans le cylindre; on donne du reste à celui-ci un grand volume, pour réduire le plus possible la capacité de la chambre de compression du carter.

Les inventeurs font remarquer que le double canal SAB est toujours en communication avec cette chambre, et qu'il ne se produit pas de variations brusques de pression sous la soupape s, qui est ainsi soumise à des efforts progressifs et n'a aucune tendance à vibrer sur son siège. On peut donc donner à ce moteur une grande vitesse angulaire.

Cette machine développe près de 13 chevaux pour un alésage de 110 millimètres; un moteur à quatre temps ne donnerait pas 9 chevaux.

Un moteur à un cylindre de 140 sur 140 a donné les résultats ci-dessous aux essais effectués au laboratoire de l'Automobile-Club de France.

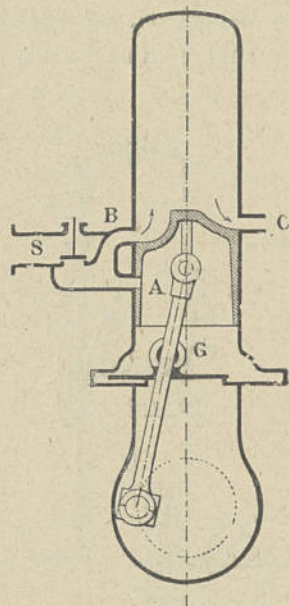


Fig. 238. — Moteur Tony  
Huber et Peugeot.

|                    | PUISSANCE<br>en<br>CHEVAUX | CONSOMMATION D'ESSENCE |               | DURÉE<br>de<br>L'ESSAI |
|--------------------|----------------------------|------------------------|---------------|------------------------|
|                    |                            | PAR HEURE              | PAR CH.-HEURE |                        |
| Pleine charge..... | 12,86                      | 5.116 grammes.         | 397 grammes.  | 6 heures.              |
| Demi-charge.....   | 6,40                       | 4.430 —                | 690 —         | 3 —                    |
| A vide.....        | 0                          | 2.960 —                | —             | 3 —                    |

Le poids de ce moteur est de 5 kg. 77 par cheval.

### 11. Moteur Ixion (1).

Toute la distribution de cette machine s'effectue avec une grande simplicité : le fonctionnement à deux temps n'entraîne l'adjonction d'aucun organe supplémentaire et toute la distribution est effectuée par le mouvement du seul piston.

1. Ce moteur a été inventé, en 1901, par M. Cordonnier, de Lille.



Le schéma de la figure 239 permet de se rendre compte de la suite des opérations. Le piston moteur P travaille par sa face inférieure, comme piston compresseur de mélange tonnant, dans sa course descendante; la compression s'effectue dans le carter, qui est supposé hermétiquement clos. Le mélange y est aspiré par un conduit ménagé dans l'axe de l'arbre moteur; amené par A, il pénètre dans l'arbre par la fenêtre D; celle-ci tourne dans le coussinet, qui

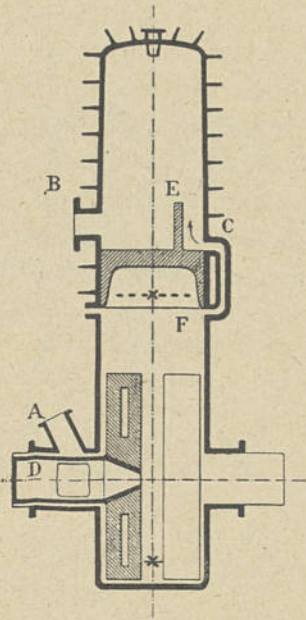


Fig. 239. — Moteur Ixion.

présente une ouverture communiquant avec A; la fenêtre et l'ouverture sont réglées de telle façon que la communication ait lieu pendant toute la durée de la course ascendante du piston.

En descendant, le piston comprime dans le carter le mélange qu'il vient d'aspirer; puis, vers la fin de sa course, il démasque deux ouvertures pratiquées dans la paroi du cylindre moteur, l'une B pour l'échappement, l'autre C pour l'entrée du mélange. Ces deux ouvertures, placées en regard l'une de l'autre, exposeraient le mélange à filer directement vers la décharge, si le piston ne portait en appendice une cloison verticale E qui lui barre le chemin : d'ailleurs, l'ouverture B est démasquée un peu avant que C ne soit découvert, et l'excès de pression des gaz brûlés les précipite dans la conduite d'échappement avant que le mélange ne soit admis dans le cylindre.

Le fonctionnement du moteur est donc le suivant : le mélange tonnant, amené sous pression du carter au cylindre par le canal FC, se substitue aux résidus du cycle précédent, évacués par B, et le cylindre se remplit; en montant, le piston achève la compression. L'allumage s'effectue quand le piston a atteint la partie supérieure du cylindre; l'explosion refoule le piston et la détente s'effectue jusqu'à ce que soit découvert l'orifice B. On obtient donc une impulsion motrice par révolution de l'arbre.

Cette machine peut marcher à très grande vitesse, attendu que le transvasement du carter au cylindre s'opère sous pression : la cylindrée se remplit donc assez complètement de mélange tonnant, et il s'en perd très peu par l'échappement. Une certaine portion déjà brûlée peut rester dans le cylindre, mais la combustion ne paraît pas en souffrir.

Dans le but de réduire au minimum le volume intérieur du carter, il est rempli par des plateaux manivelles, tenant lieu de coudé. Aucune garniture spéciale n'est jugée nécessaire pour assurer l'étanchéité de l'arbre creux à lanterne servant à l'admission; la pression développée dans le carter n'est du reste pas considérable.



Ces moteurs se construisent à 1, 2 ou 4 cylindres : avec deux cylindres, les pistons sont calés à  $180^\circ$ ; avec quatre cylindrés, on les cale à angle droit. Dans ce dernier cas, on emploie quelquefois un arbre auxiliaire de distribution, commandé par l'arbre principal, et tournant à la même vitesse que lui; cet arbre creux reçoit le mélange tonnant ou l'air carburé, et porte des fenêtres qui le distribuent aux carters des quatre cylindres.

Ce moteur, construit par M. Deloche, à Levallois-Perret, a les avantages et les inconvénients des moteurs à deux temps; la possibilité d'un départ direct des gaz tonnants vers la lumière d'échappement fait toujours craindre une consommation un peu forte. Mais on rachète ce défaut par une grande simplicité de construction et une régularité de fonctionnement remarquable, qui a permis de faire un grand nombre d'applications du moteur Ixion. On alimente ces machines surtout d'air carburé à l'essence; la puissance peut atteindre 50 chevaux effectifs.

### 12. Moteur Victoria.

MM. Kolb et Champli sont revenus à un dispositif différentiel, qui avait déjà été utilisé par d'autres : un cylindre à double alésage permet d'effectuer par un piston unique, présentant deux diamètres différents, la double fonction de comprimer le mélange et de recueillir l'énergie développée dans l'explosion. En

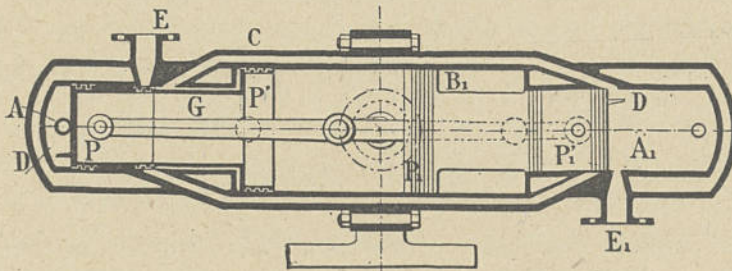


Fig. 240. — Moteur Victoria.

constituant leur moteur par deux cylindres opposés, ils ont réussi à obtenir deux impulsions motrices par tour de manivelle.

La figure 240 fait voir la coupe de cet ingénieux moteur, qui présente une parfaite symétrie d'organes par rapport au centre de l'arbre moteur. Le dessin n'a besoin d'aucune légende explicative.

Voici comment fonctionne la machine. Appelons P et P' les deux pistons conjugués : en s'éloignant du fond du cylindre, P' aspire à travers une soupape G automatique le mélange de gaz et d'air, et l'espace annulaire se remplit à la pression atmosphérique; ce mélange est comprimé durant la course de retour, puis refoulé, par le canal C, dans le cylindre opposé, dont les organes sont marqués de l'indice 1. Le piston P<sub>1</sub> achève de comprimer le mélange, dans sa



course vers le fond; puis l'étincelle jaillit et l'explosion pousse le piston. On voit donc que l'espace annulaire joue le rôle de pompe alimentaire alors que le petit cylindre A est le moteur. Les gaz brûlés s'échappent par l'orifice E, qui est libre, et dont le piston obture la section en temps voulu : ce sont par conséquent les pistons qui opèrent la distribution. Le piston moteur porte le déflecteur D, qui dirige le mélange, lors de son admission au cylindre moteur, vers la bougie d'allumage et l'empêche de se rendre à l'orifice de décharge, que le piston n'a pas encore recouvert, tout en favorisant le déplacement des gaz brûlés restés dans le cylindre.

L'allumage est effectué par un balai de toile métallique, fixé sur le volant, et frottant sur des contacts portés par une plaque en fibre isolante : on emprunte le courant à une source quelconque d'électricité.

La régulation est assurée par un régulateur centrifuge à boules, agissant soit sur l'admission du gaz, soit sur un décompresseur, qui fait communiquer les deux pompes alimentaires; on peut réduire ainsi, selon le besoin, l'aspiration et la compression.

Ces moteurs sont réversibles : cette propriété est une conséquence de la symétrie de leurs organes.

La longue détente pratiquée dans le cylindre moteur, grâce à une course égale à une fois et demie le diamètre d'alésage, a permis de réaliser un bon rendement.

Les moteurs Victoria se construisent aussi du modèle vertical : en conjuguant deux cylindres, on a pu développer 15 chevaux effectifs par 800 tours à la minute, sans dépasser un poids total de 100 kilogrammes, soit 6 kg. 6 par cheval.

### 13. Moteur Colmant.

Ce moteur emploie deux pistons concentriques : l'un est moteur, l'autre a pour fonction de comprimer le mélange; le premier glisse dans le cylindre à explosion, le second dans un cylindre intérieur; les deux sont solidaires l'un de l'autre et reliés rigidement à la bielle. La compression s'effectue dans le carter. Le piston compresseur porte sur sa face une lame mince d'acier faisant soupape; le piston moteur opère la distribution à la façon ordinaire, en découvrant des orifices percés dans la paroi même du cylindre. Cet ensemble est réellement très original et procède d'un esprit méthodique et ingénieux, mais le résultat ne laisse pas que d'être un peu compliqué dans son ensemble.

Les essais de ce moteur ont témoigné de remarquables qualités. Une machine à trois cylindres, de 100 millimètres d'alésage et 0 m. 120 de course, a développé 40,2 chevaux par 1.472 tours, en consommant par cheval-heure 355 gr. de motoline de densité, 0,70 à 15° centigrades.

Ces expériences sont du 19 février 1912.



#### 14. Moteur U. D.

Ce moteur a été décrit par M. Carlos Bourlet dans *le Génie civil*, auquel nous empruntons toute notre documentation (1).

L'inventeur, qu'on ne nomme pas, a fait emploi du piston à deux diamètres, qui se retrouve dans un certain nombre de moteurs à deux temps. Celui-ci présente une particularité, j'allais dire une complication nouvelle : sa portion de plus grand diamètre fait double joint, par l'extérieur, dans le grand cylindre, par l'intérieur avec une chemise, qui lui sert de guide. Le grand piston aspire le mélange dans l'espace annulaire, le comprime partiellement et le refoule dans le petit cylindre; le petit piston complète la compression, puis l'allumage détermine la pression motrice. En approchant de la fin de sa course, ce piston découvre des lumières pratiquées dans la paroi du cylindre.

Ce moteur se prête à un renversement de marche, par un simple décalage du point d'allumage. On coupe d'abord l'allumage, ce qui fait ralentir la vitesse; puis on donne d'un coup une avance exagérée, de façon à ce que l'étincelle jaillisse lorsque le vilebrequin est perpendiculaire à l'axe du cylindre. Le piston est arrêté par l'explosion au milieu de sa course, et il est obligé de reculer, en provoquant une rotation inverse. On remet alors l'allumage au point normal.

#### 15. Moteur Ilmer.

Ce moteur, d'origine américaine, est un des plus récents dans l'espèce : il a été décrit dans un article de la *Revue Power*, de mai 1913, que la *Revue de mécanique* a reproduit au mois d'octobre de la même année. Il présente de curieuses particularités, qu'il est intéressant de relever. C'est une machine horizontale, à longue course, à deux temps et à double effet. Il se distingue des moteurs du même genre en ce qu'il ne possède qu'une pompe, à laquelle est dévolue la double fonction de balayer les gaz de la combustion du cycle précédent, par une chasse d'air pur, et de refouler dans le cylindre moteur une charge de mélange tonnant. Cette pompe est commandée par une contre-manivelle.

L'échappement s'effectue à l'ordinaire par une couronne d'orifices pratiqués au milieu de la longueur du cylindre. Les soupapes d'admission sont annulaires, et placées horizontalement au centre des fonds; celle qui se trouve du côté de la manivelle entoure donc nécessairement le stuffing-box de la tige de piston. La commande s'opère par un plateau du genre Corliss, mais sans déclivité ni ressort de rappel. La levée est faible, mais rapide.

La pompe est munie d'obturateurs oscillants, qui livrent tour à tour passage

1. *Le Génie civil*, 32 février 1907.



à de l'air et ensuite à du gaz : le tuyau reliant la pompe au cylindre moteur sert de remise, et l'on admet que l'étroitesse de ce conduit maintient une stratification de l'air et du mélange, en vertu de laquelle le cylindre reçoit d'abord de l'air qui le balaie, puis du mélange que le piston comprime. Le régulateur agit sur la quantité de gaz admise. En plus, le conduit est coupé par des clapets de laminage que l'on règle une fois pour toutes.

Un de ces moteurs, construit par la Reading Iron Co., est en service dans sa fonderie : il a été l'objet d'expériences suivies, desquelles il résulte que le fonctionnement est très régulier; en gazéifiant de l'antracite à 7.830 calories, on a développé le cheval-heure effectif par 516 grammes. Les diagrammes relevés sont très corrects, ce qui permet de croire que ce résultat ne pourra guère être dépassé.

### 16. Moteur Le Record.

Cette machine, d'invention récente (1), est caractérisée par l'emploi de deux cylindres verticaux jumelés, ayant une chambre de combustion commune, placée à leur partie supérieure. Les deux pistons font pièce avec un troisième, lequel remplit l'office d'un carter par sa partie inférieure; son diamètre est plus que double de celui des pistons géminés.

Le cylindre supérieur de droite porte les ouvertures d'admission, celui de gauche celles d'admission.

On a construit sur ce type un moteur d'une puissance de 250 chevaux, sur le fonctionnement duquel nous avons le regret de n'avoir pu nous documenter (2).

1. *Engineering*, septembre 1921.

2. On a présenté au Salon de 1922 des moteurs à deux temps (Bouché et L. M. F. V.), dans lesquels l'aspiration des gaz ne se fait plus dans le carter; le cylindre moteur est fermé à sa partie inférieure et le piston appelle dans la chambre ainsi constituée les gaz combustibles et comburants. On évite de la sorte les entraînements d'huile du carter dans la chambre d'explosion, les encrassements du cylindre et autres inconvénients inhérents aux dispositions généralement adoptées tout en gardant une grande simplicité dans l'agencement des organes de la machine.

---



## CHAPITRE XIV

---

### MOTEURS A GAZ A COMBUSTION

---

Le moteur Simon et le moteur Brayton primitif sont les types primitifs de ces machines, dans lesquelles la combustion du mélange gazeux s'opère sous pression constante.

J'ai démontré que théoriquement ces moteurs ne le cèdent que de peu aux moteurs à explosion du type précédent, quand on fait une forte compression préalable. Or, il faut rappeler que ces fortes compressions n'ont pas les inconvénients qu'on leur objecte dans les machines à explosion; dans ces dernières, la détonation triple souvent la pression, ici, au contraire, la pression reste ce qu'elle est. Les moteurs à combustion sont en effet remarquables par la grande douceur de leur fonctionnement; il n'y a pas à insister sur cette considération.

Il est vrai que l'ensemble d'un moteur à combustion présente une certaine complication d'organes, mais ce type pourrait convenir aux machines de puissance considérable, pour lesquelles un compresseur n'est pas un auxiliaire ruineux; l'adjonction de cet organe n'a pas nui au succès des moteurs à air chaud Shaw, Buckett, Woodbury et autres avec lesquels les moteurs à gaz à combustion présentent d'incontestables analogies.

Les résultats fournis par ces machines sont du reste le plus puissant argument qu'on puisse faire valoir en faveur des moteurs à gaz à combustion.

Cette idée demande à être développée, parce qu'elle est d'une grande importance.

Les machines à air chaud, à foyer intérieur, sur lesquelles on avait fondé tant d'espérances, ont donné des rendements thermiques effectifs de 12 %, à une époque où la machine à vapeur atteignait péniblement à un tel rendement, chaudière comprise. C'était déjà un beau résultat, mais il eût été aisé d'obtenir mieux. En effet, que d'imperfections dans ces machines, à l'intérieur desquelles on chauffait de l'air en y brûlant du coke, dont les cendres souillaient le cylindre et le détruisaient rapidement; la combustion y était défectueuse, la température des réactions peu élevée, la détente insuffisante, les pertes de chaleur énormes, le rendement organique très faible, etc. Combien supérieur devra être le rendement d'un moteur à gaz à combustion, alimenté d'un mélange d'air et de gaz

1. En allemand, *gleichdruckmotoren*; en anglais, *ignition engine*.



rigoureusement dosé, brûlant progressivement dans les meilleures conditions, au sein même du cylindre sans y laisser aucun résidu, avec le minimum de pertes, toute l'énergie étant actualisée par une détente complète poussée jusqu'à la pression atmosphérique ! La théorie assigne à une telle machine, pour une compression préalable de 10 kilogrammes, un rendement de 0,41 ; il sera facile d'obtenir un rendement pratique de 0,25, très supérieur à celui de n'importe quelle machine à vapeur surchauffée. Et pourquoi ne comprimerait-on pas à 40 kilogrammes ? Rien ne s'y oppose. Ce faisant, on réaliserait des rendements extraordinaires dans des conditions qui ne cesseraient pas d'être pratiques. Le beau diagramme Gardie que nous avons reproduit précédemment, identique à celui des machines à vapeur les plus parfaites, permet d'apprécier les conditions toutes spéciales du fonctionnement de ces moteurs à combustion, dans lesquels l'admission variable se met avec la plus grande facilité sous la dépendance absolue du régulateur, en fournissant une régularité et une douceur de marche que ne peuvent donner des moteurs à explosion.

Mais alors, nous dira-t-on pourquoi a-t-on donc renoncé aux moteurs à combustion ?

On n'y a pas renoncé, puisque Diesel a adopté ce cycle et qu'il lui doit ses succès. L'argument est péremptoire. Le moteur Diesel est, il est vrai, un moteur à pétrole, et l'on désespère de le voir jamais fonctionner au gaz, puisque plusieurs années d'essai n'ont pas encore abouti à ce résultat industriel. Mais Gardie avait réussi dans une certaine mesure et son exemple devrait encourager de nouvelles tentatives.

Il ne s'agirait évidemment pas de faire de la combustion dans de petits moteurs, avec du gaz de ville ; mais nous croyons qu'en alimentant par des gazogènes sous haute pression de très puissants moteurs, on aboutirait tout aussi bien que par les moteurs à deux temps, dont l'initiative éclairée des ingénieurs a multiplié la puissance et la remarquable régularité cyclique en leur appliquant le double effet. Le rêve, considéré jadis comme un idéal, de donner au moteur à gaz la souplesse et l'élasticité de la machine à vapeur, se réaliserait de la sorte dans les conditions les plus correctes, sinon les plus simples.

Pourquoi cet objectif n'a-t-il pas été atteint, alors que l'inespéré devenait une réalité, dans la construction des machines à combustion interne ? C'est surtout par le compresseur qu'ont été mis en échec les rares inventeurs qui ont cherché à créer des moteurs à combustion : il sera facile de le démontrer.

J'emprunterai pour cela à un essai, que j'ai fait autrefois sur le moteur Gardie, des données très importantes relatives au fonctionnement des moteurs à combustion.

Cette machine se composait de deux cylindres moteurs de 400 millimètres de diamètre, 0 m. 300 de course : le compresseur mesurait 310 millimètres de diamètre et 0 m. 350 de course. Pour 180 révolutions par minute, on lisait au manomètre une pression de 6 kg. 25.



Or, la pression moyenne aux cylindres moteurs fut trouvée égale à 3 kg. 785, correspondante à un travail indiqué de 114 chevaux (1); au compresseur à double effet, on releva sur une des faces du piston une pression moyenne de 1 kg. 52 par diagramme, et sur l'autre 2 kg. 14, ce qui conduisait à un travail indiqué de 37,8 chevaux.

La puissance indiquée nette était par suite égale à  $114 - 37,8 = 76,2$  chevaux : la proportion du travail de compression au travail moteur atteignait donc  $\frac{37,8}{114} = 0,331$ . C'est le point faible qu'il importerait de corriger, puisque le rendement organique de la machine est réduit à 67 %.

Or, la solution n'est pas à considérer comme impossible.

Aussi croyons-nous que les moteurs à gaz à combustion ne doivent pas être condamnés *a priori* et qu'on y reviendra peut-être un jour avec profit, sous les réserves formulées ci-dessus.

Lencauchez et Leroy ont fait breveter autrefois un appareil régulateur compensateur donnant au gaz et à l'air la même pression à l'entrée dans le cylindre; cette égalité de tension est en effet indispensable dans les moteurs à combustion et elle n'est pas immédiatement réalisée quand on comprime séparément l'air et le gaz; les inventeurs l'obtenaient très simplement en se servant de deux récipients, remplissant l'office d'accumulateurs, en communication hydraulique l'un avec l'autre, et pourvus de flotteurs commandant des détenteurs-distributeurs. Ces appareils pourraient rendre des services en certains cas. Mais on conçoit d'autres combinaisons, dans lesquelles, par exemple, l'on comprimerait le mélange à l'entrée même du cylindre moteur, de manière à ne pas perdre les calories développées, et en prenant les précautions voulues pour éviter toute explosion intempestive.

Un mécanicien lillois, Baudet, de la maison Baudet et Boire, revenant à une idée de Tessié du Motay, construisit, en 1880, un moteur à combustion dans lequel le gaz et l'air, comprimés séparément, étaient introduits dans le cylindre à partir du point mort et y brûlaient sous pression pour se détendre ensuite jusqu'à fond de course; il paraît qu'un accident mit fin aux expériences et l'on abandonna le système, à tort peut-être.

Gardie fit preuve de plus de constance et nous nous reprocherions de ne pas consacrer à sa machine une monographie spéciale, bien qu'elle ait disparu de la scène industrielle et soit presque oubliée aujourd'hui.

### Moteur Gardie.

Il faudrait remonter bien haut pour retrouver les origines de ce moteur, attendu que Gardie a pris un premier brevet en 1863, alors qu'il commençait ses études de médecine à Montpellier : toutefois ce ne fut guère qu'en 1883 que

1. Le diamètre de la tige du piston était de 55 millimètres.



l'inventeur put s'adonner entièrement à la réalisation de son projet de jeunesse. Son moteur fut exécuté dans un petit atelier de construction nantais, trop mal outillé pour un travail aussi délicat : on commença par faire un moteur à balancier, puis on adopta le type pilon, que cette machine a conservé; de nombreuses années furent perdues en tâtonnements et Gardie mourut, en 1890, sans avoir obtenu les résultats qu'il entrevoyait. Une société se constitua à Nantes (1) pour développer les idées de l'inventeur et exploiter ses brevets; après plusieurs années d'essais infructueux, on mit laborieusement au jour un moteur intéressant, auquel l'opinion des amis et des admirateurs de Gardie prêta une valeur extraordinaire, qu'il ne possédait pas; le cours des actions avait monté, parallèlement avec les espérances de ce groupe, à une hauteur inouïe, que rien ne justifiait. La réaction se produisit fort tard et elle fut cruelle. Cette page d'histoire devait être rappelée ici, car elle est pleine d'enseignements. Il résulta de ces péripéties une dépréciation exagérée, aussi injuste qu'avait été regrettable l'emballement déraisonné des temps précédents.

En réalité, l'œuvre de Gardie était digne d'attention, en principe du moins : aussi voulons-nous dire quelques mots de cette machine, qui mérite d'être sauvée de l'oubli.

Le moteur Gardie est un moteur à combustion avec compression : il appartient donc à notre troisième type. A cet égard, nous n'y signalerons rien de bien neuf; mais l'agencement des divers éléments de la machine présente un caractère indiscutable d'originalité, et l'ensemble constitué par le moteur, le gazogène et son générateur doit retenir notre attention au moins un instant.

Gardie s'est proposé, et en cela il a été novateur, de produire le gaz dans un gazogène, qui recevait l'air nécessaire à son fonctionnement à la pression même de compression de son moteur. La conception était remarquable, mais elle présentait un grave défaut, qui était de comprimer insuffisamment, pour retirer de l'opération le bénéfice que la théorie lui promettait. D'ailleurs, la compression même insuffisante réalisée diminuait le rendement organique de l'ensemble des mécanismes dans une telle mesure, ainsi que je viens de le démontrer ci-dessus, que le rendement final restait médiocre.

Gardie complétait son œuvre en y superposant une régénération des calories emportées par les gaz de l'échappement; il réchauffait ainsi l'air et surchauffait la vapeur, qu'il admettait au gazogène.

Son moteur comportait deux cylindres moteurs jumelés verticaux, à l'entrée desquels étaient disposés des inflammateurs en métaux réfractaires, chauffés au rouge par un courant électrique lors de la mise en route, maintenus ensuite au rouge par la combustion même du gaz; pendant l'introduction, le mélange brûle au contact de l'inflammateur, au fur et à mesure de son passage, sans explosion, par suite sans augmentation de pression, mais en augmentant consi-

1. Société anonyme des moteurs Gardie, Nantes.



dérablement de volume. La pression au cylindre est donc d'abord exactement celle du compresseur; elle baisse ensuite par détente. Après avoir épuisé leur action sur les pistons moteurs, les gaz brûlés sont évacués à l'air à travers les régénérateurs, qui transmettent leur calorique à l'air qui les traverse d'autre part. Il y a donc récupération de chaleur, et ce n'est assurément pas un élément à dédaigner.

Le piston du cylindre a une grande longueur, mais sa partie supérieure n'est qu'un plongeur, attendu que les segments jointifs ne se trouvent qu'au bas; il en résulte que les parties métalliques frottantes sont confinées dans la partie la plus froide du cylindre, en un point qui est réfrigéré par une enveloppe à circulation d'eau et par le contact de l'air, lequel a un libre accès au cylindre ouvert par le bas (1).

La partie la plus chaude du cylindre est celle qui renferme les soupapes et dans laquelle s'effectue la combustion du mélange; cette région est entourée d'une enveloppe close, fort résistante, constituant la chaudière dans laquelle se vaporise l'eau destinée à l'alimentation du gazogène; cette vapeur se surchauffe du reste dans le serpentín logé à cet effet au haut du gazogène.

La caractéristique du moteur Gardie est donc d'être à combustion, et à régénération; le gaz produit par le gazogène est consommé par les cylindres moteurs au fur et à mesure de sa production, sans qu'il soit nécessaire d'interposer de gazomètre entre les cylindres et le gazogène, ce qui diminue considérablement l'encombrement. La pression élevée de l'air d'injection a d'ailleurs le curieux et fort remarquable résultat de permettre de supprimer aussi les scrubbers et les épurateurs habituellement en usage. Ce fait, auquel l'inventeur lui-même ne s'attendait peut-être point, est vraiment étonnant, mais il est indéniable, car nous avons vu le moteur Gardie marcher de nombreux jours de suite sans qu'aucun organe ne se soit encrassé. Nous attribuons cet heureux effet à la pression élevée et par suite à la très haute température du foyer du gazogène.

Dans le moteur Gardie, le réglage est quantitatif : son diagramme est identique à celui d'une machine à vapeur à détente variable; c'est exactement aussi celui d'une machine à air chaud Buckett, avec laquelle ce moteur présente de curieuses analogies.

La détente n'est pas complète, et les gaz s'échappent à une température voisine de 600°, ce qui est beaucoup trop; il est vrai que ce calorique n'est point perdu, car le régénérateur pourrait en récupérer une partie. L'air comprimé en sort à 220°. Le régénérateur est donc efficace; sa construction est simple, attendu qu'il est formé de tubes en laiton traversés dans un sens par l'air comprimé, entourés d'autre part par les gaz de la décharge.

Pas n'est besoin de munir ce moteur d'un appareil *self-starting*; la réserve

1. Au début de ses essais, Gardie revêtait la paroi du cylindre, dans la partie non touchée par les bagues du piston, d'une gaine mauvaise conductrice; cet accessoire malencontreux a été supprimé.



d'air comprimé suffit pour le mettre en route, mais comme la vapeur est fournie par le capuchon qui entoure la tête des cylindres, il est nécessaire d'emprunter au début la vapeur à une petite chaudière de secours, dont on pourra se passer, dès que la machine aura marché un quart d'heure. Il nous semble même qu'on pourrait s'en passer tout à fait, en produisant d'abord du gaz d'air (Siemens); la marche de départ serait ingrate, c'est à prévoir, mais on éviterait la complication de la chaudière de secours.

En somme, le moteur Gardie est une machine qui présentait dans son ensemble de sérieux éléments de succès.

Elle a fonctionné durant plusieurs années, dans un atelier de Nantes : mais ce n'était qu'une machine d'essai, une œuvre de premier jet. Son inventeur était plus ingénieux que compétent, et, du reste, il est mort avant d'avoir parachevé son œuvre. Elle tomba entre des mains inexpertes, qui ne surent pas mettre au point les mécanismes multiples dont elle se composait, et notamment les compresseurs.

On construisit quelques petits moteurs, sur lesquels nous n'avons pu recueillir que des renseignements incomplets.

Un moteur de 25 chevaux a marché au château de Charbonnières, près d'Orléans, et il a donné d'assez bons résultats pendant quelque temps, d'après MM. Lencauchez et Bougarel. Appliquée à actionner une dynamo et des pompes, la machine faisait son service; malgré l'absence de tout laveur ou scrubber entre le gazogène et le moteur, le cylindre et les soupapes restaient en bon état; on employait pour le gazogène du charbon gras renfermant beaucoup de cendres. Pareils résultats ont été observés en Amérique, où le moteur Gardie a porté le nom de *Bales Thermic Engine*: M. Pray, consulting, constructing and mechanical Engineer, à Boston, a publié un rapport élogieux *après essais*, dit-il, mais dans lequel on ne trouve qu'un résultat global, sans indication des méthodes employées.

Il ne paraît pas néanmoins que le moteur Gardie ait mieux réussi en Amérique qu'en France.

Et pourtant, il n'est point dit que le moteur à gaz à combustion et très haute compression soit condamné sans retour à l'insuccès. Le moteur Diesel n'est-il pas compliqué lui aussi de compresseurs d'air, d'un agencement difficile et d'un rendement médiocre? Il est devenu malgré cela le plus parfait des moteurs thermiques, ainsi que nous le verrons plus loin, uniquement parce qu'il est à combustion et à très haute compression; il a réalisé toutes les promesses de la théorie. L'injection d'un combustible liquide présente, il est vrai, des facilités particulières; mais on ne voit point pourquoi l'injection d'un gaz dans un air surcomprimé ne pourrait être réalisée.

---



## CHAPITRE XV

---

### MOTEURS A PÉTROLE A EXPLOSION

---

#### *Monographies.*

Il s'agit ici, non plus des moteurs à air carburé par une essence de pétrole, mais de ceux qu'on alimente directement d'une huile lourde, de densité au moins égale à 0,79, analogue au pétrole lampant, dont le point d'inflammation (*flashing point*) est à 35° environ, et qui ne commence à distiller que vers 150° : ces huiles ne possèdent encore à 100° qu'une tension absolue de 850 millimètres de mercure et ne pourraient être employées dans la généralité des carburateurs étudiés ci-dessus. Le problème de la carburation est en réalité plus complexe qu'avec les essences. Et d'abord, ces huiles sont d'une hétérogénéité de constitution qui crée des difficultés; d'autre part, relativement plus lourdes, elles exigent un apport de calorique qu'on doit régler judicieusement; et puis, il faut que ces produits arrivent à l'état de vapeur jusque dans le cylindre, sans subir de condensations trop marquées. Le parcours d'une longue tuyauterie y donnerait lieu infailliblement; il importe par conséquent que le changement d'état s'opère au voisinage immédiat de la culasse du cylindre, et il en résulte des sujétions : nécessité de réduire au minimum la longueur des canalisations reliant le carburateur au cylindre, obligation d'éviter les coudes, de ne desservir qu'un cylindre et de lui accoler le pulvérisateur-vaporisateur de si près qu'il ne fasse qu'un avec lui. Voilà des conditions fort différentes de celles d'un carburateur à essence, alimentant à distance un moteur polycylindrique.

L'importance des moteurs à huile lampante ressort du fait que ce carburant est beaucoup plus abondant que l'essence, et que la calorie qu'il fournit est moins chère : avant la guerre, la calorie-essence se payait 1,65 fois plus cher que la calorie-lampant; aujourd'hui, il s'est produit une certaine péréquation, mais la première vaut encore 1,35 fois plus. D'autre part, le lampant se trouve plus facilement, et sa manutention offre moins de danger.

Mais l'emploi du lampant en moteur a créé des difficultés d'application, qui n'ont pu être vaincues dès le début et qui ont retardé le développement de ces intéressantes machines.

Brayton et Hock avaient fait leurs premiers essais vers 1872, mais leurs



moteurs étaient encore imparfaits et ils s'étaient peu répandus; ce n'est guère qu'en 1886 (1) que les constructeurs ont abordé le problème de l'utilisation directe des pétroles de densité supérieure à 0,79 : l'invention porte les noms anglais et américains de Priestman, Grob, Knight, etc. Il n'est pas sans intérêt de faire observer que ces ingénieurs habitaient des pays où le précieux carbure n'est pas frappé de droits exorbitants, qui deviennent rédhibitoires de son emploi en certains pays, notamment en France.

On tâtonna d'abord sur le choix du type à adopter; après avoir essayé de la combustion, puis de l'explosion sans compression, et des deux temps avec compression, on se décida enfin pour le cycle de Beau de Rochas, qui a prévalu.

Le premier obstacle à surmonter résidait dans l'organe de gazéification : on commença par injecter tout simplement l'huile dans une enceinte dont la paroi était maintenue à la température qu'il fallait; le pétrole se volatilisait sous l'action de la chaleur. Mais des constructeurs mieux avisés imaginèrent bientôt de pulvériser à chaque course motrice la dose de carburant nécessaire, puis à vaporiser le mélange dans un réchauffeur, porté à une température d'environ 400° par une lampe. Le réglage de l'injection s'obtenait souvent en soumettant au régulateur la course de la pompe : opération délicate, attendu qu'il faut 12.500 volumes d'air pour 1 de pétrole. On pratiqua aussi de l'auto-régulation de l'injecteur-pulvérisateur par l'aspiration même du moteur, à l'instar de ce qui se fait pour les essences.

Le but à poursuivre est bien déterminé : le pétrole doit être entièrement volatilisé; s'il y a lieu d'éviter le crackage, il faut aussi supprimer toute précipitation de liquide sur le piston et les parois du cylindre, qui formerait un dépôt solide de carbone au point où s'effectue le changement d'état; le mélange du carbure et de l'air qui lui est nécessaire pour brûler ne conduira à un bon rendement que s'il est homogène et rigoureusement dosé pour donner lieu à une combustion complète. Le moindre inconvénient d'une combustion imparfaite serait de fournir un mauvais rendement; mais ce défaut aurait une conséquence beaucoup plus grave, qui est d'encrasser le cylindre et les soupapes, de faire naître des explosions intempestives et de conduire à un fonctionnement détestable.

C'est contre ces multiples écueils qu'ont échoué les premiers constructeurs, mais ils ne se sont pas découragés et ils ont fait preuve d'un grand génie inventif, en essayant les formes et les dispositions les plus variées pour leurs vaporisateurs, ainsi qu'en témoignent les monographies qui vont suivre. Faisons observer tout de suite que l'utilisation du pétrole n'est pas uniquement une question de carburateur, mais aussi une question de moteur.

1. Les dates suivantes fixeront les idées sur les origines des moteurs à pétrole : il n'en est pas encore question (en dehors des moteurs Brayton et Hock) dans les ouvrages ci-dessous : *Die Gasmachine*, par Schöttler, 1882; *Etudes sur les moteurs à gaz ionnant*, par Witz, 1884; *les Moteurs à gaz*, par Richard, 1885; *Traité des moteurs à gaz*, par Witz, 1<sup>re</sup> édition, 1886. Les auteurs ne séparaient pas le moteur à lampant du moteur à essence.



Sérions donc les difficultés et ne nous occupons d'abord que des organes vaporisateurs. L'huile à gazéifier doit rencontrer des surfaces assez étendues et dont la température ne peut tomber en dehors de certaines limites : la température du rouge cerise est un maximum, qu'il ne faut certainement jamais dépasser et qu'il est quelquefois même inutile d'atteindre. En effet, la décomposition pyrogénée de l'huile (phénomène *cracking*) produit un dépôt de carbone et donne naissance à des composés volatils, voire même à des gaz, dont l'explosion brutale fait cogner le moteur et oblige encore de réduire la compression.

Plusieurs inventeurs ont signalé l'avantage qu'il y aurait à injecter de la vapeur d'eau dans le carburateur; on prétend que cette vapeur se dissocie et que son oxygène brûle le carbone qui tend à se déposer dans le gazéificateur, alors que l'hydrogène s'ajoute aux gaz formés ( $H^2$ ,  $CH^4$ ,  $C^2H^4$ ,  $C^2H^2$ , etc.); nous n'acceptons pas cette théorie, attendu que la température de la dissociation de l'eau n'est jamais atteinte dans les vaporisateurs. Toutefois, comme il faut expliquer l'intervention utile de la vapeur d'air, nous sommes disposé à l'attribuer à la formation d'un mélange plus homogène produit par le brassage des gaz, dans lesquels tourbillonne la vapeur d'eau (1).

L'injection d'une certaine quantité d'eau dans la culasse du cylindre, que certains attaquent aujourd'hui sans toujours justifier leur opposition, présente à notre avis d'incontestables avantages si elle est faite judicieusement et dans les conditions voulues. Elle diminue la température finale de compression et empêche qu'une partie du mélange, plus riche ou moins homogène, ne soit portée à la température d'inflammation. Par la grande valeur de sa chaleur spécifique, l'eau élève la température à laquelle les réactions s'amorcent et le moment de l'allumage reste déterminé par l'appareil qui en exerce la fonction; les chocs résultant d'une combustion en masse sont atténués. A vrai dire, l'injection d'eau a pour principal effet de se prêter à une compression préalable plus forte. Les moteurs à pétrole ont en effet une tare originelle; ils ne permettent pas de comprimer suffisamment le mélange explosif formé dans la culasse; aussitôt qu'on dépasse 4,5 ou 5 kilogrammes, il se produit des coups durs et des explo-

1. On a proposé des vaporisateurs électriques. C'est qu'en effet, si l'on disposait d'un courant suffisamment intense, on pourrait utiliser l'électricité, non seulement pour l'allumage, mais encore pour la vaporisation dans les moteurs à pétrole. Il faudrait pour cela établir une résistance sur un conducteur et faire passer le pétrole liquide ou pulvérisé à son contact, dans un conduit suffisamment bien isolé pour employer le mieux possible la chaleur coûteuse obtenue par le passage du courant. On entrevoit la possibilité de la chose et plusieurs inventeurs ont proposé de la réaliser; les journaux techniques et les recueils de brevets ont mentionné ces tentatives, mais nous ne les connaissons pas autrement; peut-être ces projets ne sont-ils restés qu'à l'état d'ébauches.

Southey enroule un fil de platine en hélice et il l'enveloppe d'amiante; au centre des spires, se trouve un tube en cuivre à chicanes, le long duquel le pétrole coule goutte à goutte et dans lequel il se vaporise. Rowbotham forme une bobine résistante, qu'il protège par une enveloppe et qu'il introduit dans la chambre de vaporisation. Ce mode de chauffage serait évidemment ruineux si le courant devait circuler continuellement dans ces appareils; mais on peut se borner à recourir à la chaleur du courant pour la mise en route du moteur, et dès lors la dépense est fort réduite.

Quoi qu'il en soit, nous avons peine à croire que ce soit là une bonne solution du problème de la vaporisation, et nous avouons que c'est uniquement pour l'originalité de la conception que nous avons jugé bon de la signaler; les inventeurs qui seraient tentés de recourir à ce procédé sauront du moins que leur idée a déjà germé dans d'autres esprits que le leur.



sions prématurées, qui ont pour effet de nuire à l'étanchéité des pistons, de mater les coussinets, de briser quelquefois les vilebrequins et de donner lieu à un fonctionnement brutal et dangereux. Or, quand on comprime à moins de 4 kilogrammes, on ne peut espérer de bonnes combustions et de bons rendements.

Je crois que c'est à M. Banki que revient le mérite d'avoir atténué ce défaut des moteurs à pétrole, en injectant dans la culasse de l'eau pulvérisée; il a pu de la sorte comprimer à 10, 12, voire même à 15 kilogrammes : nous avons donné la technique de ce procédé, excellent en lui-même, qui a permis de réduire la consommation de pétrole à 230 grammes, mais qui présentait de grandes difficultés d'application.

Letombe n'a pas moins bien réussi (1) en introduisant dans la culasse de la vapeur d'eau formée dans un appareil spécial, chauffé par les gaz de l'échappement. L'air carburant traverse un récipient en fonte, présentant de nombreuses chicanes, à grande surface, entouré par le courant de décharge du moteur; un jet d'eau, réglable à volonté, jaillit dans le récipient et la vapeur produite se mêle à l'air. Le cylindre reçoit donc de l'air saturé à haute température. La compression peut, dans ces conditions, égaler presque celle d'un moteur à gaz pauvre, et le rendement devient par le fait même beaucoup meilleur.

MM. Crossley ont créé un moteur, qu'ils ont appelé *lampless oil engine*, parce qu'il n'exige pas de lampe pour échauffer le carburateur, mais qui recourt aussi à l'injection de l'eau, pour permettre d'augmenter la compression. La culasse de cette machine a une forme nouvelle; derrière la boîte à soupapes se trouve une longue chambre cylindrique, garnie d'ailettes extérieures; c'est la chambre de vaporisation, dans laquelle on injecte le pétrole, en même temps que de l'eau et un filet d'air surnuméraire. L'injection du pétrole ne s'effectue que vers la fin de la course de compression. La consommation garantie est de 3,5 décilitres de pétrole lourd par cheval-heure effectif. On a pu employer toutes espèces de pétrole de toute densité, même du pétrole brut (*crude oil*), sans constater dans le cylindre aucun dépôt de suie. MM. Crossley ont construit, d'après ce système, de petits moteurs verticaux à deux cylindres, animés d'une grande vitesse de 700 tours, qui ont pu fonctionner à la paraffine, dans d'excellentes conditions; on les a appliqués avec succès à la propulsion des canots et embarcations légères.

On a aussi eu l'idée d'introduire dans le mélange d'air carburé une certaine proportion de gaz inertes, tels que les gaz d'échappement : cette pratique se défendait par le fait que l'addition de ces gaz ne diminue pas la température du mélange comprimé, et que, par suite, elle ne réduit pas autant que l'injection d'eau le rendement thermique, mais elle présentait de sérieuses difficultés de réalisation que l'on n'a pu surmonter.

1. *Les Moteurs*, page 407; Paris J.-B. Baillièrre et fils, 1909.



Un moteur à pétrole ne saurait être mis en route à froid, sauf dispositions spéciales que nous étudierons : la pulvérisation doit, en effet, être complétée par une vaporisation qui exige de la chaleur. Le plus souvent, on recourait à une flamme extérieure, d'une lampe ou d'un éolypile, pour porter le carburateur à une température déterminée, ou pour chauffer l'air avant son introduction au carburateur. Une fois le moteur en marche et amené à ses conditions de régime, la lampe n'est plus nécessaire; on utilise alors la chaleur développée dans la chambre d'explosion, qui présente une grande masse thermique, ou celle qu'emportent dans leur décharge les gaz brûlés; l'eau de circulation de l'enveloppe de réfrigération n'est pas à une température suffisante. L'appoint des calories dont nous venons de parler est assez considérable lorsque la machine marche en pleine charge, mais ces moyens donnent des résultats précaires quand elle développe peu de travail : c'est la période critique du fonctionnement. Dans ce cas, en effet, si le moteur est réglé par admission de tout ou rien, il se produit de nombreux passages à vide, qui font passer à travers le cylindre un grand volume d'air; celui-ci refroidit les parois, les gaz de l'échappement sont moins chauds et les explosions subséquentes s'effectuent mal. Mieux vaut donc, au lieu de supprimer les admissions, de régler le moteur en faisant de l'admission variable : le régime du tout ou rien, justifié pour les moteurs à gaz de faible puissance, l'est beaucoup moins pour les moteurs à pétrole.

Dans les moteurs à pétrole, la fonction dévolue au régulateur, en admission variable, est à vrai dire plus complexe et partant plus délicate que dans les moteurs à gaz et à essence, si l'on veut régler exactement la puissance des impulsions motrices suivant les besoins du travail à effectuer. Brayton mettait la course de refoulement de sa pompe sous la dépendance du régulateur par l'intervention d'un coin entre la tige de l'excentrique et le piston; il existe un grand nombre de dispositifs du même genre auxquels on peut recourir : nous en décrirons quelques-uns.

Il est à noter, à l'avantage des admissions variables, que la raréfaction qui se produit dans le cylindre par l'admission de charges réduites a l'heureux résultat de parachever dans le cylindre la vaporisation des gouttelettes d'huile qui y ont pénétré.

En faisant usage d'appareils *self-starter* à air comprimé, les mises en route se font aisément sans nécessiter l'emploi d'une lampe, à condition de prolonger suffisamment l'action de l'air comprimé et d'injecter d'abord un peu d'essence légère; la chaleur des gaz de la décharge aura bientôt fait de donner au carburateur la température nécessaire pour gazéifier l'huile plus lourde.

On a réussi à alimenter ces moteurs à explosion en huiles lourdes, huiles américaines ou russes, de densité égale à 0,85 et, même plus, d'huiles de schiste et de mazouts, de bonne qualité, grâce à certains artifices spéciaux, dont le fonctionnement pouvait être garanti dans des moteurs particulièrement soignés,



marchant à pleine charge et à régime constant : l'adjonction d'une magnéto d'allumage assurait ces machines contre les ratés de combustion.

Les concours de Meaux, de Cambridge et de Berlin, organisés en 1894, ont mis en relief les qualités des moteurs à pétrole lourd, et ils ont permis d'apprécier le rôle qu'ils peuvent jouer dans les installations de la campagne, où le gaz de ville fait défaut et qui ne sont pas assez importantes pour justifier l'installation d'un générateur de gaz pauvre.

Ces concours firent constater des consommations très réduites, que nous semblons oublier aujourd'hui, mais qu'il est bon de rappeler à ceux qui font dater l'utilisation directe des pétroles lourds de ces dernières années : un Niel de 6 chevaux développa le cheval-heure effectif par 307 grammes, un Merlin par 347, un Swiderski par 375, un Crossley par 372. Les résultats de Meaux furent au moins aussi brillants que ceux de Berlin, ce qui est encore un fait à remettre en lumière.

Les moteurs à pétrole jouissaient à cette époque d'une vogue méritée, et ils trouvèrent une large clientèle, jusqu'au jour où s'éleva la concurrence des moteurs à gaz pauvre fonctionnant par aspiration. Leur étoile pâlit alors, car on ne pouvait leur faire développer une puissance de plus de 50 chevaux et leur fonctionnement était incontestablement plus onéreux, du moins en France, où le pétrole a toujours été un combustible cher. Reconnaissons du reste que leur rendement moyen restait inférieur. En estimant le pouvoir du pétrole à 11.000 calories, le rendement d'un moteur brûlant 350 grammes par cheval-heure, exigeant donc 3.850 calories, n'était que de  $\frac{635,29}{3.850} = 0,165$ ; ce résultat ne sortait pas de la médiocrité. Ajoutons à cela que beaucoup de moteurs dépensaient plus de 350 grammes et que trop souvent ils donnaient lieu à des encrassements, qui causaient de graves déboires. Malgré cela, nous tenons à dire qu'avant l'apparition des moteurs Diesel et semi-Diesel, il existait déjà des moteurs à pétrole d'un établissement peu coûteux et d'une construction relativement simple, exigeant peu d'entretien, qui donnaient satisfaction à une clientèle peu exigeante, à laquelle des machines plus modernes ne conviennent pas toujours, eu égard à leur prix élevé et aux difficultés de conduite et de réparation qu'elles présentent.

### 1. Moteur Priestman.

Ce moteur est un des plus anciens moteurs à pétrole, attendu que les premiers brevets Dent et Priestman remontent à 1886; c'est d'autre part un des bons moteurs que nous ayons à signaler. A ce double titre, nous en ferons une monographie complète (1).

1. Notre description est faite d'après le travail de M. Cawthorne Unwin, *Petroleum Engines*, publié dans les *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, tome CIX, 1892.



Au début, Priestman cherchait à réaliser un moteur donnant une course motrice par tour du volant; il y a sagement renoncé depuis lors, pour en venir comme tout le monde aux quatre temps.

Voici comment est constitué ce moteur. Une pompe à simple effet commandée par un excentrique, calé sur un arbre tournant deux fois moins vite que le moteur, comprime de l'air à 0,5 kilogramme de pression dans un réservoir placé à l'avant de la machine, contre le socle, muni d'une soupape de réglage; ce réservoir renferme du pétrole, que la tension de l'air fait monter vers le pulvérisateur. Le liquide divisé en fine poussière traverse le vaporisateur chauffé par les gaz de l'échappement, où la vaporisation s'achève; en même temps, il se mêle à la vapeur formée un certain volume d'air, en quantité suffisante pour produire un mélange tonnant, lequel est admis au cylindre à travers une soupape automatique. La compression, puis l'explosion ayant eu lieu, l'échappement s'effectue à travers une soupape de décharge, attaquée par le même excentrique qui conduit la pompe à air. Le nombre des organes de cette ingénieuse machine est évidemment réduit au minimum par un ensemble de simplifications heureuses.

Le carburateur a été longuement étudié et maintes fois modifié; dans une page fort curieuse, M. Unwin rapproche les formes successives qu'a reçues l'ajutage qui constitue l'organe essentiel de l'appareil. C'était d'abord un long bec saillant, à double canal concentrique, recevant l'huile par le tuyau central et l'air par le tube enveloppant; petit à petit, on l'a raccourci, la saillie a disparu, et finalement l'on s'est arrêté à un ajutage rentrant, forçant l'air à venir contrarier la sortie de l'huile.

La figure 241 permet de se rendre compte de la manière dont est agencé le pulvérisateur sur le vaporisateur A. Dans l'axe de ce vaporisateur est disposé l'appareil de pulvérisation, dont le pétrole est réglé par un robinet R à orifice triangulaire, soumis au régulateur; ce même robinet porte sur son prolongement une valve V, obturant plus ou moins le tuyau par lequel est aspiré le complément d'air nécessaire pour que le mélange devienne explosif : cet air débouche sur le côté, à travers un diffuseur, et se mêle intimement à la vapeur combustible. Il importe d'observer que la pression de l'air dans le récipient X est invariable et que les proportions d'air et de pétrole contribuant à la composition du mélange tonnant ne changent pas non plus; le dosage de ce mélange

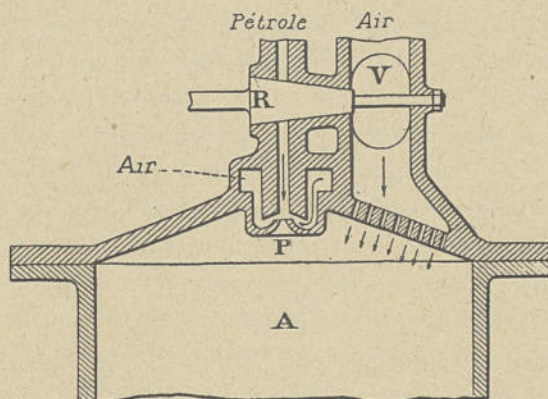


Fig. 241. — Pulvérisateur Priestman.



ne se modifie donc pas et il se fait dans les meilleures conditions possibles. La régularisation s'opère en faisant varier le volume du mélange admis par cylindrée.

Le vaporisateur est constitué par un cylindre en fonte, à enveloppe : le mélange de la vapeur carburée et de l'air comburant traverse ce cylindre dans un sens, tandis que les gaz de la décharge parcourent l'enveloppe en sens inverse; le réchauffement est donc méthodique et la pratique fait constater un résultat excellent.

Les soupapes sont appliquées sur le fond du cylindre l'une au-dessus de l'autre, leurs axes parallèles : celle d'admission est automatique, tandis que la soupape de décharge est menée par l'excentrique de la pompe. La bougie d'allumage électrique est disposée sur le côté de la chambre de compression : l'étincelle est fournie par une bobine d'induction alimentée par des piles.

Comme le vaporisateur est chauffé par les gaz de la décharge, il devenait nécessaire d'ajouter au moteur une lampe de mise en train, pour faire monter au degré voulu la température des parois du cylindre avant de demander du travail à la machine : cette lampe se dispose contre le socle. Du reste, fort souvent la pompe P est déplacée et disposée obliquement en dessous de l'excentrique.

M. Priestman considérait d'abord la puissance de 20 à 25 chevaux comme un maximum; mais il a abordé progressivement la construction de plus gros moteurs, dans lesquels il a substitué à son allumage électrique un nouvel allumage par tubes incandescents, qui présente quelques dispositifs particuliers. Les tubes sont placés horizontalement à la partie inférieure de la cheminée dans laquelle monte la flamme des brûleurs qui les maintient au rouge : ces tubes sont fermés par une soupape, qui empêche l'allumage, quand elle est ouverte. A la mise en route, on insère un coin entre la tige de la soupape et le levier qui opère sa levée, de manière à la maintenir ouverte pendant une partie de la compression; ce coin tombe de lui-même à la première poussée du levier. En marche, l'allumage se règle par la durée même de l'ouverture, grâce à une vis qui met la tige de butée à la longueur convenable. La partie inférieure de la cheminée est fermée par un volet qu'on replie plus ou moins, suivant le besoin du tirage.

Ce modèle d'allumeur est surtout appliqué aux machines destinées aux pays lointains et aux colonies, pour lesquelles l'emploi des piles est moins indiqué.

On garantissait, pour les moteurs Priestman, une consommation de 400 grammes par cheval-heure effectif et on faisait souvent mieux.

L'injection d'une faible quantité d'eau, prélevée à 60° sur la circulation d'eau chaude de l'enveloppe, améliorerait le rendement et accroissait la puissance de près de 15 %.

On a construit un type vertical spécialement applicable à la navigation; on lui faisait commander une hélice réversible.



## 2. Moteur Otto.

Dès 1890, les ateliers de Deutz créaient un moteur à pétrole lourd, dont les dispositions ont été maintes fois modifiées, d'où il est permis de déduire que les premières ne donnaient point satisfaction ; il est donc inutile de les décrire <sup>(1)</sup>. Je ne mentionnerai que le type adopté postérieurement à 1900.

Ce moteur était à admission variable sous la dépendance du régulateur, la composition du mélange tonnant restant constante : une pompe débitait l'huile.

Dans cette machine, la came qui commande à la fois la levée de la soupape d'admission et la course de la pompe à pétrole, a la forme d'un manchon conique ; le régulateur la fait glisser sur son axe ; il en résulte une levée variable de la soupape et une course variable du piston, et la simultanéité des deux effets maintient une proportion constante d'air et de carbure. Le mécanisme de distribution adopté

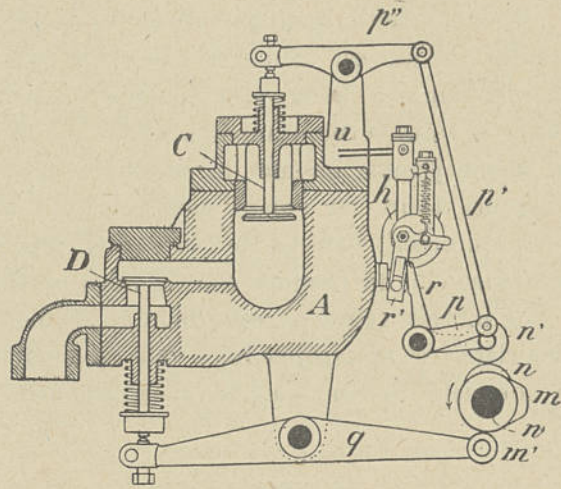


Fig. 242. — Distribution Otto à pétrole.

est représenté par la figure 242 ;  $w$  est le manchon conique, dont le bossage  $m$  commande par le levier  $q$  la soupape de décharge  $D$ , alors que  $n$  attaque la soupape d'admission  $A$  par l'intermédiaire de  $p' p''$ . Ce même bossage actionne aussi le levier  $r$  qui agit par le coude  $pr$  sur le levier  $r'$  de la pompe  $h$ . La commande de la pompe est donc solidaire de celle de l'admission. Cette pompe  $h$  est une pompe à piston à simple effet, avec soupapes automatiques. Le piston est mû par un bras logé dans la boîte de la pompe et relié au levier extérieur  $r'$ . Lorsque la came soulève le galet,  $r$  vient buter contre  $r'$ , et le piston aspire l'huile ; aussitôt que la came abandonne le galet, le piston redescend et refoule le liquide dans le vaporisateur par le tuyau  $u$ . Il faut remarquer que l'injection ne se produit donc que dans la seconde moitié de la course aspirante, ce qui est un point essentiel pour le fonctionnement. La conicité du manchon a pour effet de faire varier la course du piston, sous la dépendance du régulateur : la décharge s'ouvre à chaque accomplissement du cycle.

1. Un de ces modèles était caractérisé par l'emploi d'une membrane souple, s'infléchissant par l'action de l'aspiration d'air ; elle commandait l'échappement qui cessait de s'ouvrir, quand la vitesse s'accélérait, et la pompe à pétrole, qui ne donnait alors plus rien. La soupape d'admission était automatique. Une lampe chauffait à la fois le vaporisateur, la chambre de vaporisation et le tube d'allumage. Le réglage s'effectuait par tout ou rien.



L'allumage est électrique, par magnéto.

On voit par cette description que ce moteur Otto est dépourvu de lampe; le vaporisateur est réduit à sa plus simple expression, grâce à une bonne pulvérisation du carbure liquide; ces moyens si simples suffisent pour assurer une bonne marche.

Comme il n'y a plus de passages à vide, la température du vaporisateur reste suffisamment élevée, quelle que soit la charge de la machine. Mais on recommande de garder à la paroi du cylindre une température aussi élevée que possible.

Pour mettre en marche, il faut nécessairement commencer avec une gazoline volatile, ce qui est un inconvénient du système. On place la pompe au repos, en relevant son levier, et l'on verse un certain volume de gazoline dans une petite cuvette surmontant la soupape d'admission, en fermant le robinet d'air : en même temps, on met le moteur à demi-compression par la came *ad hoc*. Quelques tours de volant suffisent pour produire des explosions; graduant alors lentement l'entrée de l'air, et enclenchant la pompe à pétrole, on arrive généralement du premier coup à faire partir le moteur.

Ce moteur convient aussi bien à l'emploi de l'alcool que du pétrole, et cette propriété très remarquée lui a valu en Allemagne une certaine faveur, à laquelle la notoriété du constructeur a certainement contribué.

### 3. Moteur Hornsby-Akroyd.

Ce moteur se distingue des précédents en ce qu'il est dépourvu d'inflammeur, l'explosion étant déterminée par la seule compression du mélange tonnant dans une chambre de combustion. L'avantage est à considérer, car, l'appareil une fois mis en train, il n'y a plus aucune flamme extérieure d'allumage : les Compagnies d'assurances tiennent compte de ce fait et diminuent leurs primes en conséquence. D'autre part, il résulte de ce dispositif une remarquable simplification des mécanismes et par suite la possibilité d'une réduction des prix : mais toute médaille a son revers et il faut reconnaître que l'absence d'allumeur ne facilite pas les mises en route. Disons encore que le moteur Hornsby-Akroyd n'a pas de pulvérisateur, ni même de vaporisateur spécial; on n'y trouve non plus d'appareil de chauffage appliqué à la gazéification de l'huile.

A cet égard, les inventeurs ont, par suite, réussi à réduire au minimum le nombre des organes de leur machine.

Comment s'opèrent donc les fonctions de vaporisation et d'allumage?

Une chambre close C est disposée à l'arrière du cylindre dans le prolongement de son axe, communiquant avec lui par une partie étranglée; c'est à vrai dire la chambre d'explosion de la machine; elle est munie intérieurement



de nervures, destinées à augmenter l'étendue des contacts entre ses parois et les gaz qu'elle renferme.

A chaque coup moteur, l'explosion se fait dans cette enceinte et, comme elle n'est point réfrigérée par le dehors, la température de la paroi s'élève considérablement. Le pétrole, logé dans le socle, est injecté par une pompe dans la chambre que nous venons de décrire; l'air y arrive en même temps, appelé par l'aspiration du piston, le mélange s'opère, car l'huile se vaporise aussitôt au contact de la paroi chaude. La compression est assez forte pour qu'elle provoque l'allumage et l'explosion du gaz tonnant. L'allumage est donc spontané et la chaleur du vaporisateur s'entretient d'elle-même, sans le secours d'aucune source de chaleur extérieure. Il est vrai que l'on s'expose à des allumages intempestifs; mais l'expérience montre que l'étranglement du canal de communication suffit pour empêcher cet accident. On pourrait du reste, comme l'a proposé M. Robinson, n'opérer l'injection du pétrole qu'à la fin de la compression : on ne procède guère autrement aujourd'hui dans les moteurs semi-Diesel, dont le moteur Hornsby peut donc être considéré comme le prototype; en effet, injecter sur la fin de la compression, c'est opérer par combustion. Notons du reste que le pétrole est injecté directement par la pompe, dans la culasse chaude.

Ce n'est que pour la mise en marche qu'il est nécessaire de recourir à une lampe pour élever d'abord la température de la chambre au point voulu pour la spontanéité de l'allumage : trois minutes suffisent, attendu que cette lampe a une grande activité, étant alimentée d'air comprimé qui forme un chalumeau très énergique. Cet air est fourni par le ventilateur à main F.

L'innovation de cette chambre d'explosion et de vaporisation communiquant avec le cylindre par un canal étranglé, constitue le fait le plus saillant de l'invention de MM. Hornsby et Akroyd, et elle a contribué aussi pour une grande part au succès de cette belle et intéressante machine. L'encrassement du cylindre est, dit-on, presque nul, probablement parce que les produits de la combustion restent confinés dans la chambre : le nettoyage de cet organe est du reste très facile.

Il nous reste à décrire quelques détails accessoires de ce moteur. La pompe à pétrole est conduite par un arbre latéral faisant un tour pour deux du moteur. Le régulateur G, placé contre le cylindre, agit sur la soupape d'introduction de l'huile dans la chambre d'explosion et de vaporisation : cette soupape restant fermée, un *by-pass* demeure ouvert et l'huile refoulée retourne au réservoir.

Les essais de M. Robinson ont montré que ce moteur a une marche régulière et économique.

D'après les prospectus, la puissance de ces machines varie de 1  $\frac{1}{2}$  à 50 chevaux, par cylindre.



#### 4. Moteur Grob.

Ce moteur, qui a joui d'une grande vogue, dérive d'un premier brevet de M. Capitaine, devenu l'associé et le directeur de la maison Grob et C<sup>o</sup>.

Cette machine est du type dit à pilon; le cylindre vertical, monté à la partie supérieure du bâti, est ouvert par le bas, et la tige du piston actionne de haut en bas le vilebrequin de l'arbre de couche.

La marche est à quatre temps, avec admission par une soupape automatique placée au haut du cylindre : la décharge se fait par la soupape placée sur le côté droit, à la hauteur du raccordement du cylindre avec la chambre d'explosion. Cette chambre a la forme d'une coupole tronconique : le vaporisateur de pétrole y débouche directement.

Ce vaporisateur mérite une description, car il présente une réelle originalité; il joue à la fois le rôle de pulvérisateur, de vaporisateur et d'allumeur, et il remplit fort bien cette triple fonction. On le voit représenté sur la figure 243 à la gauche du cylindre, vers sa partie supérieure.

Il a la forme d'un canal demi-circulaire *i* communiquant avec le cylindre par ses deux extrémités; le pétrole est amené par un tuyau étroit *h* au haut du canal; l'ensemble de l'organe fait saillie hors du cylindre, de manière à pouvoir être chauffé par une lampe. L'appareil est donc un vaporisateur, puisque le pétrole trouve une paroi chaude pour se gazéifier; mais c'est aussi un pulvérisateur. En effet, l'air admis par la soupape automatique supérieure traverse en majeure partie le canal demi-circulaire que nous venons de décrire, avec une vitesse suffisante pour cueillir la goutte de pétrole qui se présente au bout du tuyau *h* et pour la projeter contre le métal chaud. L'air se carbure par suite en pénétrant dans le cylindre, dont le vaporisateur fait partie intégrante.

Voici dès lors comment fonctionne le moteur. En descendant, le piston aspire, par la soupape automatique, un certain volume d'air dont la presque totalité traverse le vaporisateur et se carbure; en remontant, il comprime sa charge, car la soupape se referme aussitôt d'elle-même, sous l'action du ressort à boudin *l*, tendu par l'écrou *K*. Or, pour une certaine position du piston et pour une certaine compression, le mélange tonnant arrive au contact du métal chauffé au rouge cerise dans le vaporisateur et il s'y enflamme : l'explosion se propage dans la masse et elle agit sur le piston arrivé au point mort, pour le faire redescendre et lui donner une impulsion motrice; il est essentiel que cette impulsion ne s'exerce que dans la course de descente du piston et qu'elle ne soit pas prématurée.

L'explosion ayant amené le piston à bout de course, il s'agit d'évacuer les gaz brûlés : la soupape de décharge (placée à la droite du cylindre) s'ouvre donc et livre issue aux gaz. Le mouvement de cette soupape est commandé



par une tringle d'excentrique, qui appuie sur sa tige et la souève. Mais il importe de remarquer que cet excentrique, étant calé sur l'arbre moteur lui-même,

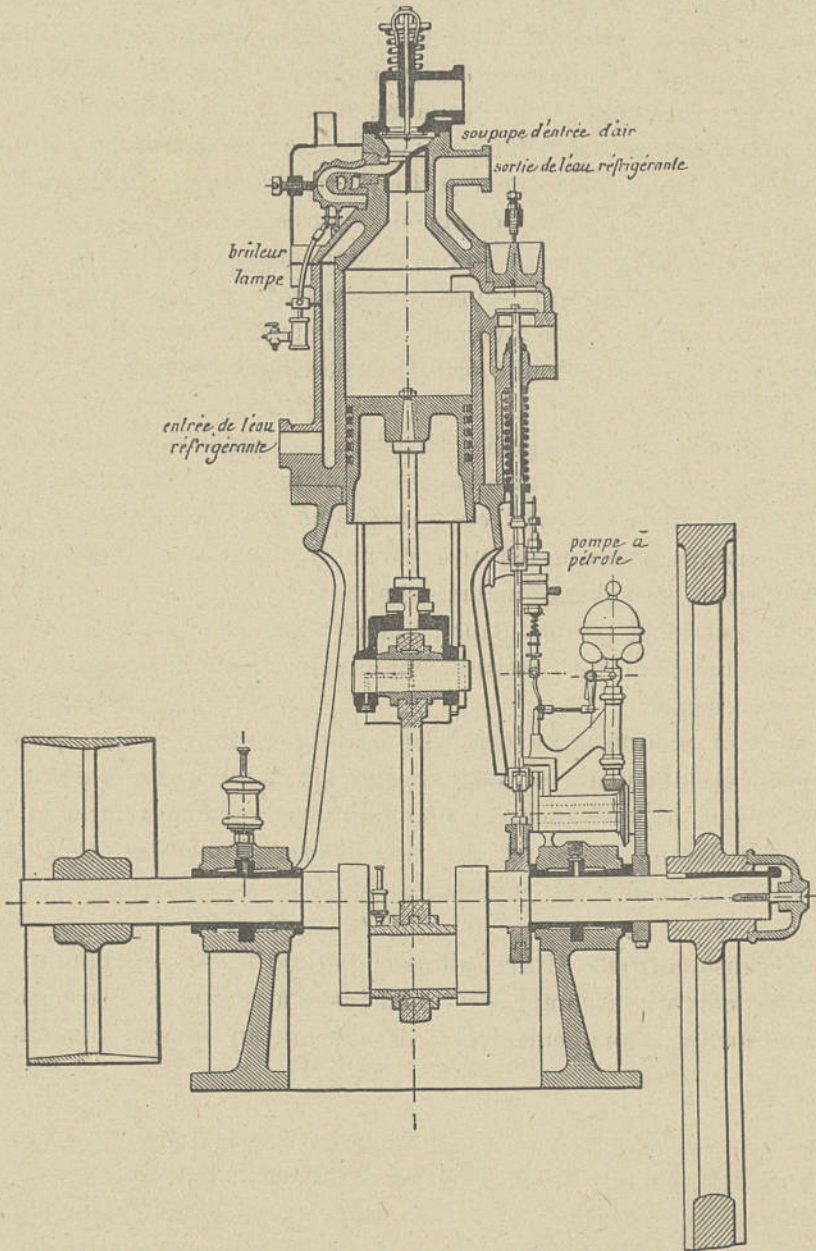


Fig. 243. — Moteur Grob.

tendrait à ouvrir la soupape à chaque tour, alors qu'elle ne doit être levée que tous les deux tours.

Un petit croisillon oscillant entre deux taquets permet très élégamment d'obtenir ce résultat : entraîné par l'extrémité de la tringle d'excentrique, il



soulève dans sa première montée la soupape; mais il heurte en même temps le taquet de droite, qui le fait osciller de telle sorte qu'il manquera, à la montée suivante, la tige de la soupape et ne l'ouvrira point. Mais une rencontre avec le taquet de gauche le remet en place et lui permet d'agir de nouveau sur la soupape de décharge. Il importe d'observer que le régulateur intervient dans l'actionnement de la soupape de décharge, car, lorsque la vitesse s'exagère, cette soupape reste levée tout le temps; il en résulte que la soupape automatique d'admission ne peut plus fonctionner et il n'entre dès lors plus d'air au cylindre.

Il n'entre pas davantage de pétrole au vaporisateur : cela nous amène à parler de la pompe à huile et de son fonctionnement intermittent.

Cette pompe se compose d'un cylindre dans lequel se meut un piston plongeur, qui découvre dans son mouvement des canaux par lesquels arrive l'huile en charge : ce piston est actionné par un levier, dont le régulateur détermine la position.

Quand la vitesse de la machine s'accélère, le régulateur place le levier O dans une position telle que l'excentrique ne puisse pas actionner la pompe. Ce régulateur, qui est d'inertie, se trouve donc chargé d'une double fonction; il commande la pompe à pétrole par un couteau de butée, et agit en même temps sur l'échappement qu'il laisse ouvert, quand la vitesse est supérieure à celle du régime. L'expérience semble avoir démontré que ce procédé donne de meilleurs résultats que celui qui consiste à maintenir la soupape fermée, pour suspendre les explosions.

La lampe qui chauffe le vaporisateur est une sorte d'éolypile : après cinq minutes de fonctionnement, on ouvre progressivement une valve par laquelle s'échappe alors un jet de vapeur en flamme, développant une grande quantité de chaleur. La flamme de ce jet doit être bleue; si elle était rougeâtre, il y aurait lieu de déboucher les ouvertures du brûleur pour faciliter l'accès de l'air.

Pour une mise en route, il faut allumer d'abord la lampe, chauffer le vaporisateur, faire marcher la pompe à la main jusqu'à ce que le pétrole soit arrivé au pulvérisateur, et, alors seulement, on tournera au volant pour faire partir la machine.

## 5. Moteur Niel.

La Compagnie des Moteurs Niel avait, dès 1894, pris un rang distingué parmi les constructeurs des moteurs à pétrole et elle participait avec succès au concours de Meaux : une machine Niel de 6 chevaux consumma 307 grammes de pétrole à 11.040 calories par cheval-heure effectif. Plus tard, cette consommation fut abaissée à 280 grammes. Ces chiffres remarquables justifient l'attention que nous accordons à ce moteur, qui a eu son heure de vogue et a fait honneur à la



construction française des moteurs à huile lourde, qui avait été longtemps handicapée par les ateliers allemands.

Le vaporisateur était chauffé par une lampe dont la flamme faisait rougir le tube d'allumage et élevait la température de l'air admis au cylindre.

Pour constituer un mélange relativement pauvre, mais toujours explosif, on a eu recours à l'artifice suivant.

Sur le fond du cylindre a été placée une soupape à levée automatique, permettant d'introduire directement dans le cylindre la quantité d'air nécessaire pour compléter la cylindrée avec le mélange d'air et de vapeur venant de la chaudière par le conduit de distribution. Il y a donc dans la chambre de compression deux mélanges de composition différente : l'un pauvre, placé dans le cylindre, derrière le piston, formé d'air pur, introduit par la soupape automatique, et d'un mélange d'air et de vapeur venant de la chaudière; l'autre, plus riche, formé simplement d'un mélange d'air et de vapeur; ce dernier, éminemment inflammable, est admis à la fin de l'admission, prend contact avec les parois rouges du tube d'allumage et enflamme toute la charge.

On pourrait douter de l'efficacité de cette manière d'organiser les choses, mais il est cependant certain qu'elle a conduit à un bon rendement.

Le régulateur agissait sur le fonctionnement, en maintenant l'échappement ouvert, quand la vitesse normale était dépassée.

Dans les moteurs de plus grande puissance, un distributeur-jaugeur d'eau, débouchant dans la prise d'air, introduisait de la vapeur d'eau dans le mélange tonnant, pour atténuer son explosion.

Sous l'habile direction de M. Wehrin, la Compagnie des moteurs Niel avait placé dans sa nombreuse clientèle des centaines de moteurs de ce type; ils se recommandaient par leur construction robuste et soignée, leur faible consommation et leur prix relativement peu élevé, alors même que leur vitesse n'était pas exagérée. Leur puissance atteignait 35 chevaux.

## 6. Moteur Banki (').

Ce moteur, exposé à Vincennes, en 1900, par la maison Ganz, de Budapest, semblait avoir été disposé non loin du moteur Diesel comme un compétiteur; et, par le fait, on pouvait croire qu'en effet cette machine entraînait en concurrence avec son glorieux rival.

A la suite des essais de MM. Jonas, Taborski et Meyer, qui ont fait ressortir, pour un moteur de 25 chevaux, des consommations de 221 grammes de pétrole léger par cheval-heure effectif, toutes les espérances étaient permises. Mais,

1. Voir dans *le Génie civil* du 19 août 1899, le travail de M. Banki sur le moteur Diesel et les moteurs thermiques. M. Banki avait déjà créé un moteur en l'année 1892.



les résultats pratiques et immédiatement réalisables n'ont point répondu à ce qu'on était en droit d'escompter, et cette machine n'a pas occupé dans l'industrie la place qu'on avait rêvée pour elle : la création de Diesel lui a barré le chemin de la fortune. Le moteur à combustion a triomphé du moteur à explosion.

Au point de vue théorique, Banki est le disciple de Diesel et il a commencé à analyser à fond les idées du maître, avant de créer à son tour. Ayant compris l'importance des hautes compressions, il a cherché à les réaliser, tout en marchant par explosion : or, quel était l'obstacle à surmonter ? Il fallait empêcher les allumages prématurés, qui se produisent fatalement dans les moteurs à pétrole à quatre temps, lorsque la compression préalable dépasse 5 kilogrammes ; pour cela, il suffisait d'injecter de l'eau dans le mélange. M. Banki estima qu'il obtiendrait ainsi le même résultat que M. Diesel avait réalisé en effectuant la compression séparée du combustible et du comburant. Il a réussi dans une certaine mesure, puisqu'il comprime sans encombre à plus de 15 kilogrammes. Mais ce n'était pas encore assez.

Le moteur Banki est donc un moteur à pétrole à explosion, à haute compression, fonctionnant à quatre temps, avec injection d'eau dans le cylindre durant la compression. Nous avons dit ci-dessus les avantages qui résultent de cette manière de faire, inaugurée déjà par Hugon, en 1865, et brevetée à son profit.

La vapeur d'eau surchauffée, qui se développe dans le cylindre au moment de la déflagration du mélange, en atténue la violence et absorbe momentanément une fraction de son énergie pour la restituer au moment de la détente. L'abaissement corrélatif de la température initiale n'est sans aucun doute pas avantageux en principe ; mais si la théorie générique le condamne, la théorie expérimentale en fait apprécier les heureux effets, qui se traduisent surtout par une diminution de l'action des parois. La chaleur de l'eau de réfrigération, au lieu d'aller au ruisseau avec l'eau de l'enveloppe, est utilisée par la vapeur formée dans le cylindre, dont la tension s'ajoute à celle des gaz brûlés ; cette vapeur facilite la lubrification des parois ; tous ces heureux résultats s'ajoutent par surcroît au bénéfice considérable résultant de la haute compression qui est rendue possible, ainsi que nous l'avons dit.

Mais voici l'écueil : il faut doser habilement la vapeur d'eau introduite dans le cycle, car un excès abaisserait outre mesure la température explosive et nuirait aux combustions, en provoquant ainsi un déchet considérable que rien ne pourrait compenser. Cette difficulté est grande et elle n'est peut-être pas étrangère à l'insuccès des nombreux inventeurs, qui ont essayé les injections d'eau, sans prendre les dispositions voulues.

M. Banki emploie un pulvérisateur pour projeter dans l'air comburant le carbure liquide et le diffuser entièrement dans le mélange ; un autre pulvérisateur y injecte de l'eau ; divers appareils permettent de faire varier à volonté la proportion relative des éléments de la charge du cylindre, et une valve à



papillon règle l'afflux de l'air complémentaire. On comprime à 15 kilogrammes : le diagramme ci-contre (fig. 244) fait voir ce qui se produit dans le cylindre au moment de l'allumage; l'inflexion subie par la courbe indique un ralentissement dans les réactions chimiques de la combustion, suffisant pour que la marche en avant du piston produise une dépression sensible : puis la déflagration s'achève et la pression explosive dépasse 30 kilogrammes. La détente s'effectue dans de bonnes conditions.

La compression est sensiblement adiabatique; pour un rapport des volumes de la chambre de combustion et du cylindre égal à 9,05, la pression monte à 16 kg. 4 à fin de compression. Dans ce cas, la pression explosive dépasse 33 kilogrammes.

Le moteur Banki exposé en 1900 avait la forme pilon : le cylindre reposait sur un solide bâti, avec lequel les paliers de l'arbre de couche

étaient venus de fonte. Un arbre, disposé horizontalement à côté de l'arbre moteur et faisant un tour pour deux, commandait par excentrique la soupape d'échappement : le réglage s'effectuait en maintenant cette soupape ouverte. La soupape d'admission était automatique, mais une tige venait s'appuyer sur elle et l'asseoir sur son siège aussi longtemps que la décharge restait ouverte : on évitait ainsi de garnir d'un ressort extrêmement dur la tige de la soupape d'admission.

L'allumage se faisait par un tube gardé à l'incandescence par le moteur lui-même.

Le régulateur était engagé dans le volant.

La mise en route était effectuée en utilisant la pression des gaz brûlés accumulés par le moteur lui-même dans un réservoir.

La quantité d'eau injectée dans le cylindre est considérable; d'après M. Jonas, elle est d'environ cinq fois en poids celle du carbure. Dans ces conditions, disait M. Banki dans le *Génie civil*, « le fonctionnement est très régulier, sans aucune secousse, et le rendement au frein est très élevé. En effet, le cheval-heure effectif correspond, en pleine charge, à une consommation de pétrole de 250 grammes environ. Voici d'ailleurs une série d'expériences faites avec notre moteur de 20 chevaux, le 29 juillet 1899, comparées avec celles publiées par le professeur Schröter sur un moteur Diesel de mêmes dimensions (250 millimètres de diamètre, 0 m. 400 de course). »

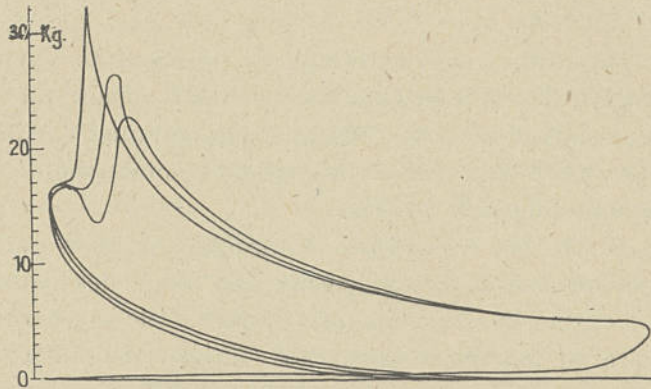


Fig. 244. — Diagramme Banki.



| PUISSANCE EN CHEVAUX EFFECTIFS. | CONSOMMATION DE PÉTROLE<br>PAR CHEVAL-HEURE EFFECTIF |               |
|---------------------------------|--|---------------|
|                                 | Moteur Diesel.                                       | Moteur Banki. |
| A vide .....                    | 1.880 grammes.                                       | 909 grammes.  |
| 7,30 chevaux .....              | — —  | 293 —         |
| 12,75 — .....                   | 276 —  | 248 —         |
| 20,00 — .....                   | 247 —  | — —           |
| 23,50 — .....                   | — —  | 230 —         |

Ces chiffres sont extrêmement intéressants, parce qu'ils établissent qu'à un moment donné le moteur Banki rendait mieux que le Diesel : cela n'a pas duré longtemps, il est vrai. Notons d'ailleurs que les chiffres ci-dessus s'appliquaient à des huiles peu denses; le moteur à combustion s'accommodait, au contraire, des huiles les plus lourdes.

M. Mathot a confirmé les résultats signalés par Banki dans son mémoire; pour un moteur de 25 chevaux, il a relevé des consommations de 231 grammes de benzine par cheval-heure effectif à pleine charge et de 1.480 grammes par heure en marche à vide. Ces chiffres concordent avec ceux que nous avons donnés ci-dessus. Il a observé qu'aux différentes quantités d'eau injectée correspondaient des chutes de pression d'autant plus fortes et des pressions explosives d'autant plus faibles que la proportion d'eau était plus grande, sans que cependant la surface du diagramme, et par suite sa pression moyenne en soit sensiblement affectée. Ainsi le poids d'eau passant de 5 à 3 fois celui de la benzine, la pression moyenne a varié de 10 kg. 3 à 10 kg. 6.

Il est utile de faire remarquer subsidiairement que le procédé Banki a été appliqué aussi à des moteurs alimentés au gaz de ville : mais les résultats obtenus ont donné lieu à une acrimonieuse polémique entre ingénieurs allemands. Les uns ont déclaré une consommation de 389 litres de gaz à 5.000 calories par cheval-heure effectif; d'autres au contraire, attribuant ce remarquable rendement aux effets secondaires d'un graissage extrêmement abondant, ont élevé ce chiffre à 429 litres. Certains diagrammes marquent une compression de 16 kilogrammes conduisant à une pression explosive de 24 kilogrammes; mais il paraîtrait qu'on aurait vu quelquefois cette pression monter à plus de 56 kilogrammes, la courbe ne présentant plus cette chute de pression que nous avons constatée ci-dessus; il est probable qu'une explosion aussi brutale ne correspond pas à la marche la plus douce et la plus régulière du moteur (1).

1. GÜLDNER, loc. cit. page 419.



### 7. Moteur Bellem'et Brégeras.

MM. Bellem et Brégeras se sont donné pour objectif de construire un moteur à pétrole lourd pouvant être mis en route directement à la manivelle, sans réchauffage et sans être obligé de recourir à l'emploi de l'essence. Ils y ont pleinement réussi.

Leur machine présente une particularité entièrement nouvelle; c'est assez rare, pour que nous consacrons une monographie détaillée à cette œuvre originale.

La pulvérisation du pétrole est effectuée dans une atmosphère raréfiée, qui en provoque la volatilisation spontanée, sans exiger l'intervention d'une source de chaleur. Voici comment ce résultat est obtenu : au premier temps d'aspiration, on n'admet dans le cylindre que la quantité d'air strictement nécessaire pour pulvériser finement la charge de combustible; le piston en avançant fait donc naître derrière lui un vide relatif. L'entrée de l'air nécessaire à la combustion n'a lieu que sur la fin de la course. A la suite de ce premier temps, la compression, l'inflammation du mélange tonnant et l'expulsion des gaz brûlés s'effectuent de la façon ordinaire.

Le moteur est constitué de la manière qui suit, aux termes d'une note qui m'a été remise par les inventeurs avec le dessin de la figure 245 : ce dessin n'est qu'un schéma, dont une légende fera comprendre les indications.

B, soupape d'admission commandée, recevant par le boisseau *n* l'air pur nécessaire à la combustion; la soupape de décharge est placée en dessous de celle d'admission.

A, soupape de pulvérisation du pétrole.

C, distributeur de pétrole.

*de*, pointeau d'admission de l'huile, dont le prolongement supérieur occupe le centre d'une bobine *e*, parcourue par le courant électrique d'allumage, lancé par le rupteur D.

P, pompe à huile.

E, régulateur de pression, dont le plongeur *m* est connecté avec le distributeur d'air pur *n*.

*ef*, adduction de l'huile au pulvérisateur *abb'b<sup>2</sup>b<sup>3</sup>*.

*k*, retour du pétrole en excédent au réservoir.

Ces explications données, nous pouvons aborder la description du fonctionnement de ces divers organes, qui sont ingénieusement agencés et présentent moins de complexité, qu'on ne le croit, de prime abord.

Au premier temps d'aspiration, le piston moteur descend, mais la soupape B ne s'ouvre pas; il ne passe qu'un peu d'air par la tige creuse de la soupape A de pulvérisation. L'huile, renfermée dans la chambre *a*, est injectée dans le



cylindre sous forme de fines vésicules, qui se vaporisent rapidement dans une atmosphère raréfiée.

Quand le piston moteur approche de la fin de sa course, la soupape B livre passage à l'air de combustion.

Au second temps, le piston comprime le mélange en remontant.

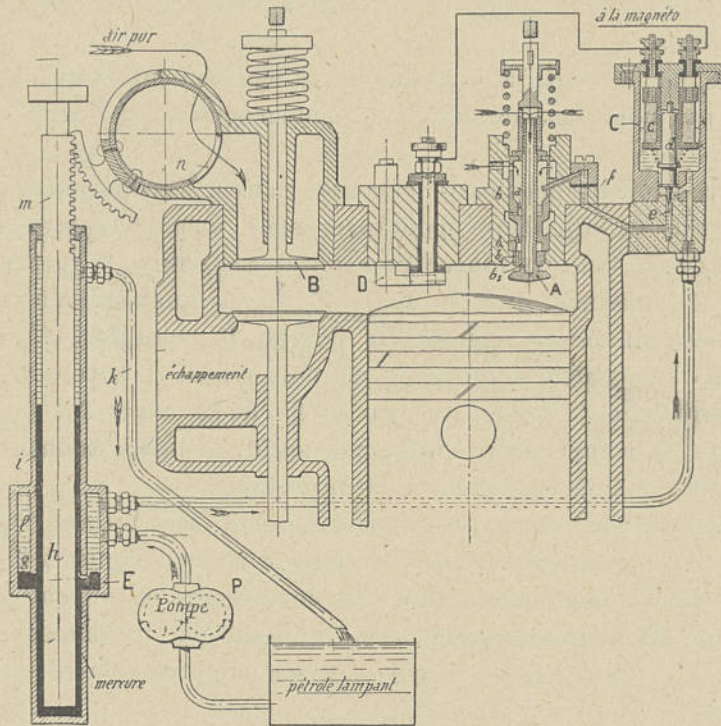


Fig. 245. — Moteur Bellem et Brégeras.

Troisième temps : le rupteur fonctionne et allume la charge ; mais son courant attire le pointeau *d*, qui ouvre le conduit *ef* ; le pétrole passe en *a*, où il est mis en réserve en vue de la charge subséquente.

Le quatrième temps expulse les produits de la combustion et le cycle s'achève, pour recommencer aussitôt après.

Il nous reste à faire comprendre l'action du régulateur de pression E. La pompe P lui fournit l'huile en donnant un débit et une pression supérieurs aux nécessités de l'alimentation. Le niveau *g* du mercure reste toujours à la hauteur du bord inférieur du cylindre *i* ; il livre passage à l'excès de pétrole débité par la pompe, qui retourne au réservoir par le tuyau *k*. La pression dans l'espace *l* et le distributeur C est donc mesurée par la colonne de mercure *i*, quelle que soit la densité du pétrole. On fait varier à volonté cette pression, en agissant sur le cylindre *m*, relié au boisseau *n* ; cette action est exercée par le régulateur suivant les besoins du moteur.



Un mot encore du pulvérisateur : quand A s'ouvre, les orifices  $b$  sont découverts, et une poussière d'huile passe par les trous  $b^1$  et  $b^2$ ; l'air, qui afflue par la tige creuse et les orifices  $b^3$ , parachève ce travail.

Cet ensemble fonctionne très bien, ainsi que je l'ai constaté moi-même au cours d'expériences qu'il m'a été donné d'effectuer sur cette machine : je faisais évacuer les produits de l'explosion dans la salle même du moteur, pour me rendre compte de la nature de ces gaz; ils restaient incolores.

Le laboratoire de l'Automobile-Club a fait des essais de consommation sur un moteur de 5 chevaux, dont le piston avait 100 millimètres d'alésage et 0 m. 150 de course; la vitesse angulaire se tenait aux environs de 812 tours par minute. Voici les résultats relevés :

Pétrole lampant : densité = 0,81 à 15°  
Consommation par cheval-heure effectif = 385 grammes.  
Huile solaire : densité = 0,885 à 15°.  
Consommation par cheval-heure effectif = 374 grammes.  
Alcool : densité = 0,634 à 15°.  
Consommation par cheval-heure effectif = 811 grammes.

La compression avait été respectivement de 5,2, 5,7 et 6,8 kilogrammes par centimètre carré.

Ces essais portent la date du 25 février 1911 : on a obtenu mieux encore depuis lors.

Lors de la discussion, qui a eu lieu aux Ingénieurs civils de France, en 1921, des meilleures conditions de fonctionnement des carburateurs à pétrole lampant, M. Bellem a signalé les résultats d'expériences poursuivies à l'arsenal de Brest, sur un moteur de chasseur de sous-marins transformé en système Bellem-Brégeras et il a produit les chiffres suivants (1) :

*Moteur 6 cylindres.*

|                       |   |              |          |
|-----------------------|---|--------------|----------|
| Caractéristiques..... | { | Alésage..... | 254 m/m. |
|                       |   | Course.....  | 0 m. 280 |

Départ à froid au pétrole, sans essence et sans réchauffage.

Puissance développée : 179 chevaux effectifs.

Vitesse : 410 tours.

Consommation : 372 grammes par cheval-heure.

Ce même moteur a également fonctionné avec un mélange de 80 % de mazout et 20 % de lampant.

Ces essais ont été effectués au banc en actionnant une dynamo.

M. le colonel Ferrus a déclaré que le moteur Bellem-Brégeras avait fourni, sur route, au cours de la guerre, d'excellents résultats avec du lampant, dans des conditions, a-t-il ajouté, que l'artillerie cherchait en vain à réaliser depuis 1900.

1. Procès-verbal de la séance des Ingénieurs civils du 25 février 1921.



Ce moteur est sorti vainqueur du concours organisé par l'Automobile-Club de France, sous la direction de l'autorité militaire, en 1919, et il a obtenu les prix de 10.000 et de 50.000 francs.

On ne nous reprochera pas d'avoir trop insisté sur les mérites de cette invention essentiellement française.

### 8. Moteur Williamson (1).

C'est un moteur à pétrole à deux temps, à cylindre oscillant.

Le cylindre, monté sur tourillon, est divisé en deux chambres séparées par le piston : l'une d'elles, la chambre inférieure, sert de compresseur et fournit l'air de balayage; l'autre constitue la chambre d'explosion. L'air passe de l'une à l'autre par des orifices démasqués par le piston, quand il arrive à fond de course.

Le pétrole est injecté à travers un des tourillons; l'échappement se fait par l'autre.

La tige du piston, terminée en tête de bielle, sort du cylindre par un long fourreau, rendu étanche par de petits segments.

Cette machine réellement originale a développé 7,5 chevaux, mesurés au frein, par un cylindre de 152 millimètres d'alésage, par une course de piston de 0 m. 133, la vitesse étant de 400 tours. On a relevé une consommation de 300 grammes de lampant par cheval-heure effectif, ce qui est un excellent résultat pour une machine d'aussi faible puissance. Elle pèse 175 kilogrammes, volant compris; on a obtenu une bonne marche au ralenti à 120 tours.

### 9. Moteur Kromhout (2).

Cette machine a été construite par la maison Goedkoop, dans ses ateliers de Kromhout, à Amsterdam, dans le but de concurrencer les moteurs Diesel dans la navigation fluviale : elle fonctionne à deux temps, comme la précédente; on donne comme sa caractéristique qu'elle est à chambre de combustion incandescente. Celle-ci est constituée par un cône creux, en acier coulé, chauffé par un brûleur spécial, qui l'amène au rouge sombre avant la mise en marche, Vers la fin de la compression, alors que la manivelle se trouve à 30° en avant du point mort supérieur, l'huile est injectée par un ajutage latéral jusqu'au bout de la course; sous l'action de la compression croissante, l'huile se vaporise d'abord et l'explosion ne se produit qu'au moment où la course s'achève. Une

1. *Technique moderne*, tome VII, page 402, décembre 1913.

2. *Le Génie civil*, 1<sup>er</sup> février 1913, page 261.



injection d'eau faite dans l'air aspiré, réglable par une valve graduée, empêche l'allumage prématuré du mélange. A l'extrémité de la course descendante de retour, les gaz brûlés s'échappent vers un silencieux, par un large orifice découvert par le piston, à la façon habituelle des moteurs à deux temps. Au bout d'un quart d'heure de marche, on éteint le brûleur.

L'air de balayage est comprimé dans le carter par la face inférieure du piston; les soupapes d'aspiration sont en cuir; l'air passe du carter au cylindre par une lumière, placée en face de celle de décharge; le piston porte le déflecteur qu'on trouve dans les moteurs à deux temps. L'huile est injectée par une pompe en bronze sans presse-étoupes. Le réglage s'effectue par tout ou rien, à l'aide d'un régulateur d'inertie.

La machine marche à volonté dans l'un ou l'autre sens, celui dans lequel on la fait démarrer : elle se fait remarquer par sa grande simplicité, et aussi, disons-le, par les analogies qu'elle présente avec le type dénommé semi-Diesel.

### 10. Moteur Millot.

Les établissements Millot, de Gray, construisent une série de moteurs, spécialement destinés à l'emploi du lampant, qui diffèrent des moteurs à essence, en ce que le fond du cylindre n'est plus fondu avec lui d'une pièce, mais rapporté. Le pétrole est amené par aspiration dans un gazéificateur en fonte, visible sur notre dessin (fig. 246); le pétrole y est injecté par une buse, puis vaporisé. On le chauffe par une lampe à flamme forcée pour mettre en route.

La série s'étend de 1 à 18 chevaux; nous en donnons ci-dessous les caractéristiques.

| PUISSANCES..... | 1 <sup>ch</sup> | 1 <sup>ch</sup> 4 | 2 <sup>ch</sup> | 3 <sup>ch</sup> | 4 <sup>ch</sup> | 5 <sup>ch</sup> | 6 <sup>ch</sup> | 6 <sup>ch</sup> | 7 <sup>ch</sup> 5 | 8 <sup>ch</sup> 5 | 12 <sup>ch</sup> | 10 <sup>ch</sup> | 12 <sup>ch</sup> | 12 <sup>ch</sup> 5 | 14 <sup>ch</sup> | 18 <sup>ch</sup> |
|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|
| ALÉSAGES.....   | 95              | 120               | 110             | 130             | 145             | 165             | 173             | 185             | 210               | 210               | 230              | 220              | 250              | 250                | 280              | 300              |
| COURSES.....    | 100             | 100               | 120             | 120             | 150             | 150             | 170             | 185             | 185               | 205               | 220              | 220              | 250              | 250                | 250              | 300              |
| VITESSES.....   | 500             | 500               | 500             | 500             | 400             | 400             | 400             | 330             | 330               | 330               | 350              | 300              | 300              | 250                | 250              | 250              |

\* \* \*

L'étude à laquelle nous venons de nous livrer des moteurs à pétrole à explosion, comporte d'importants enseignements que nous devons mettre en lumière (1).

Et d'abord, reconnaissons que ces machines présentaient une infériorité théorique intrinsèque, résultant de la difficulté d'effectuer une compression suffisante, malgré tous les artifices employés pour empêcher les allumages

1: Nous pourrions compléter la suite de ces monographies par la description des moteurs à pétrole Crossley, Tangye, Campbell, Knight, Premier, Capitaine, Japy, Millot, Bernhard, etc., qui méritaient assurément une mention, mais nous aurions demandé une place dont nous ne disposons pas, en nous exposant à d'inévitables redites.



prématurés; de plus, au point de vue pratique, elles étaient sujettes à des encrassements, qui se formaient dans les carburateurs et les cylindres à la suite

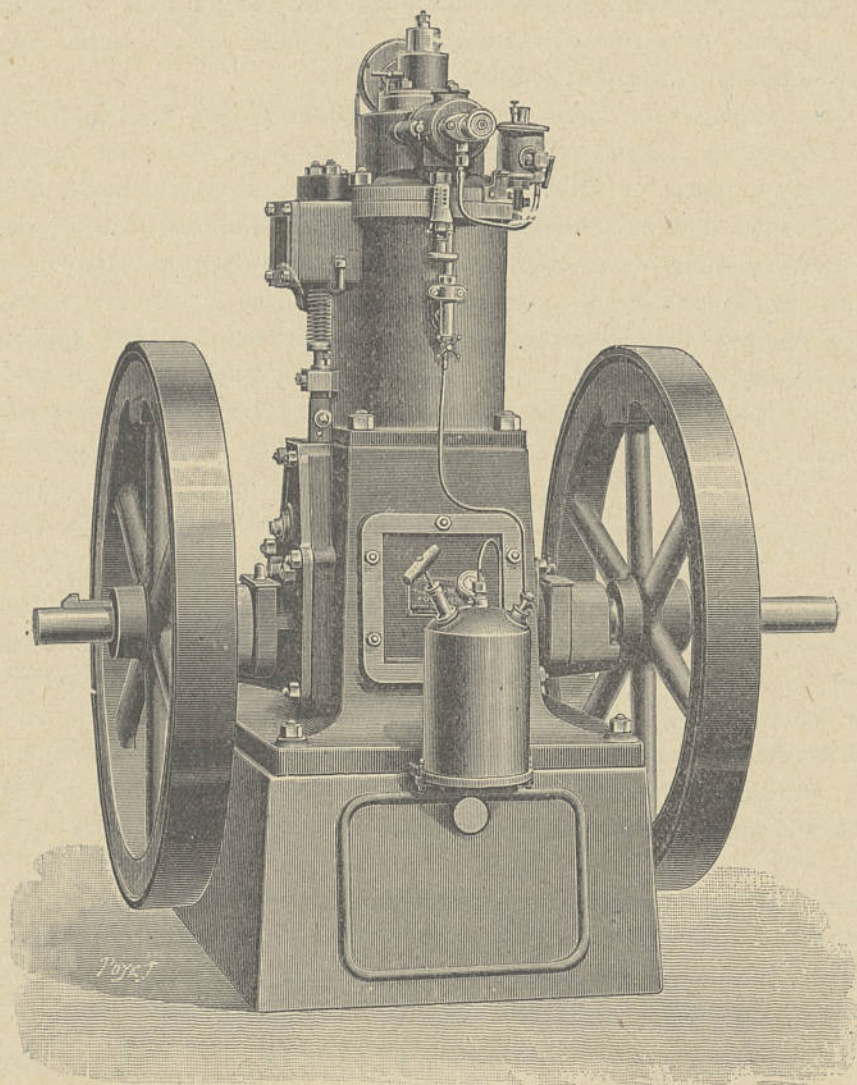


Fig. 246. — Moteur Millot.

d'une marche prolongée, surtout à faible charge, principalement quand on faisait usage d'autres huiles que le pétrole lampant. En effet, l'emploi des huiles plus lourdes, que d'aucuns acceptaient le cœur léger, occasionnait généralement tant d'ennuis, que l'on se voyait trop souvent contraint d'y renoncer. D'autre part, la puissance de ces moteurs était limitée, et ils étaient restés des moteurs de la petite industrie et des installations isolées, fortement concurrencés par les gaz pauvres, plus économiques et aussi plus maniables; les moteurs à essence restreignaient eux-mêmes le champ de leurs applications.



Toutefois, il ne faudrait point noircir le tableau outre mesure. Il y a eu de bons moteurs à pétrole, dont les Anglais, les Allemands et les Américains ont tiré un meilleur parti que nous, parce qu'ils jouissaient d'une plus large libéralité fiscale. Quelques modèles, mieux étudiés et plus judicieusement établis, ont réalisé une marche réellement économique, dont j'ai cité de remarquables exemples. Ces machines étaient d'autre part d'un prix réduit, d'une conduite et d'une surveillance aisée et d'un entretien peu coûteux; leur construction, qui ne présentait pas de sérieuses difficultés, était à la portée des moindres ateliers.

Mais le moteur à combustion est venu, au commencement du siècle, leur disputer leurs clients. Il se présentait avec l'apanage d'un rendement extraordinaire, qui faisait oublier le prix qu'il fallait mettre pour le réaliser pleinement. L'œuvre de Diesel conquiert les préférences de tous, en permettant l'emploi des huiles de toute nature et de toute qualité, dans des machines qui se prêtaient aux plus grandes puissances; pour les puissances moindres, on créa sous le nom de semi-Diesel des moteurs, moins chers, moins délicats, encore très économiques dont l'emploi se généralisa rapidement. Les Diesel et les semi-Diesel sont les rois du jour. Nous allons leur consacrer les pages qui suivent, dont je n'ai pas à souligner à l'avance le grand intérêt théorique et pratique.

---



## CHAPITRE XVI

### MOTEURS DIESEL ET SEMI-DIESEL.

#### *Considérations générales.*

Le moteur Diesel, universellement réputé, n'a pas vu le jour, comme on le pense, en l'année 1893; où un ingénieur bavarois de ce nom publia un opuscule sur les machines à feu et prit quelques brevets : ce premier-né, mal venu, ne vécut pas. C'est son frère cadet qui est devenu célèbre : il avait été recueilli par la Société *Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg* (M. A. N.) et par MM. Krupp d'Essen, Sulzer de Winterthur et Cärels de Gand, qui firent son éducation et développèrent ses rares qualités. Ils le lancèrent dans le monde en 1897; il y fut accueilli avec enthousiasme et conquit aussitôt la célébrité.

Ce récit n'est qu'un apologue, mais la vérité se cache sous la fiction dont je l'ai revêtue (1). Il est bien vrai que les brevets allemands des 14 janvier et d'avril 1893 conduisirent à la construction d'une petite machine de 4 chevaux, qu'on essaya de mettre en marche le 17 juillet 1893, mais qui refusa de tourner. Ce n'est qu'en 1896 qu'une troisième machine, revue et corrigée, développa 20 chevaux dans de bonnes conditions (2); le 29 janvier 1897, les ateliers d'Augsbourg annonçaient à la maison Krupp, leur associée dans la circonstance, une remarquable consommation de 258 grammes de pétrole lampant, par cheval-heure effectif, qui tombait à 234 grammes le 1<sup>er</sup> février, sous les yeux de M. Dyckoff venu de France, et à moins encore, quand M. Schröter procéda à ses expériences du 17 février. Mais le nouveau moteur ne ressemblait plus guère à celui de l'opuscule de 1893.

Le Diesel, qui a pris aujourd'hui le premier rang parmi les machines thermiques, aurait pu être, mais n'a pas été une œuvre de théorie; on l'a très exactement caractérisé en disant que c'est un « compromis entre la théorie et la pratique ». Ce n'est pas un produit du génie allemand, mais de sa patience, de son activité et de sa ténacité. Ne soyons pas jaloux, mais relevons le fait pour l'imiter.

1. Voir sur ce sujet les publications suivantes : *Die Entstehung des Dieselmotors*, par R. Diesel; *Neuere Literatur über den Dieselmotor*, par divers; « Les vingt ans du moteur Diesel », par Witz, dans *la Technique moderne*, août 1913, etc.

2. On avait dépensé 700.000 francs pour les études préliminaires du moteur.



Voici exactement comment les choses se sont passées. Les ingénieurs de la M. A. N. s'étaient mis à l'œuvre, sous la direction technique de l'inventeur et de MM. Vogel et Buz, directeurs des ateliers, avec le concours financier de la puissante maison Krupp (1). Un moteur à un cylindre, d'une puissance de 20 chevaux, fut construit pour servir aux expériences de toute nature qu'il fallut poursuivre inlassablement afin de mettre les détails au point : ceux qui ont la pratique de ces sortes d'études se rendront compte des difficultés qu'on rencontra (2). Les tâtonnements durèrent plusieurs années. On reconnut qu'il fallait se restreindre à l'emploi des combustibles liquides et l'on renonça à l'injection du charbon pulvérisé revendiquée par le premier brevet; la compression ne put être poussée aux 250 atmosphères prévues et l'on se résigna à ne pas dépasser 35 à 40 kilogrammes par centimètre carré; on abandonna l'idée du compoundage, qui aurait eu l'avantage de donner une impulsion motrice par révolution.

En fin de compte, on aboutissait à un moteur à pétrole, à quatre temps, à combustion comme le Brayton, mais qui était bien supérieur à ce prototype; le rendement de la nouvelle création dépassait aussi de beaucoup tous les moteurs à pétrole connus. De plus, ces moteurs ne se prêtaient qu'à l'emploi du pétrole lampant, de densité égale à 0,800; le moteur Diesel s'accommodait, au contraire, des huiles les plus diverses.

La consommation du moteur Diesel était extraordinairement réduite : les officiels résultats qu'on fit connaître au public provoquèrent l'admiration générale. Un moteur de 20 chevaux, alimenté au pétrole d'Amérique, de densité égale à 0,789, d'un pouvoir calorifique *supérieur* de 10.935 calories, consomma 238 grammes par cheval-heure effectif, donnant un rendement thermique effectif de 24,2 %.

En présentant les résultats de ce brillant essai au Congrès des ingénieurs civils allemands, tenu à Cassel, en 1897, M. Schröter déclarait que, dès ses premiers pas, le moteur Diesel s'était placé au premier rang des meilleures machines motrices : l'éloge n'était point exagéré. La suite le prouva bien.

Un nouvel essai, effectué avec la coopération de MM. Schröter, Unwin, Sauvage, etc., fit constater, pour un moteur de 30 chevaux, une dépense de 225 grammes de naphte brut de Russie; M. Dœpp trouva à Saint-Petersbourg 208 grammes avec un naphte de même origine.

En 1902, M. E. Meyer déclara 192 grammes de pétrole, soit un rendement de 32 %. La même année, M. Lundholm, de Stockholm, établit un record avec 173 grammes d'huile brute américaine et calcula un rendement de 36,8 %. Il s'agit ici d'un rendement thermique *effectif*; on cite souvent des rendements *indiqués* beaucoup plus élevés, auxquels nous ne nous arrêterons pas, attendu qu'ils n'ont pas grand sens dans l'espèce.

1. Von Lossow, « Die Geschichtliche Entwicklung der Technik im Südlichen Bayern », *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1903, n° 27.



Les chiffres que nous venons de rapporter ont été confirmés maintes fois depuis lors; une machine à vitesse accélérée, faisant 400 tours par minute, construite surtout en vue d'obtenir de la régularité, d'une puissance de 200 chevaux, a été essayée par M. Eberle, à Augsbourg, en 1907, et elle a permis de relever un rendement organique égal à 82,6 %; en pétrole de Galicie, le cheval-heure a coûté 188 grammes. La régularité cyclique observée a été d'autre part excellente.

Le diagramme Sankey, de la figure 247, que j'ai dressé sur les données habituelles des bons moteurs Diesel, résumera toutes les considérations précé-

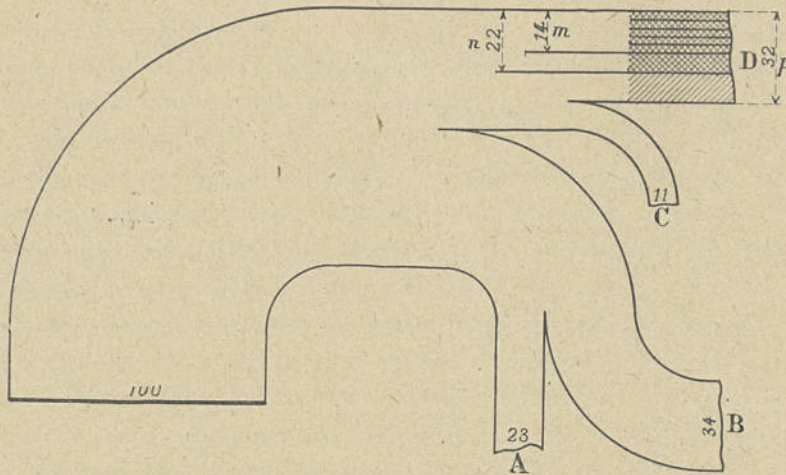


Fig. 247. — Diagramme des pertes d'un Diesel.

dentes, en les présentant aux yeux : il établit le bilan des pertes de la machine, en faisant ressortir son rendement thermique indiqué et effectif.

|             |   |   |      |
|-------------|---|---|------|
| Pertes..... | { | A, par l'eau de réfrigération.....              | 23 % |
|             |   | B, par la décharge des gaz.....                 | 34   |
|             |   | C, par frottements et résistances passives..... | 11   |
|             |   | D, rendement thermique effectif.....            | 32   |

Pour faire apprécier ce résultat à sa juste valeur, nous mettons en évidence, sur notre diagramme, les rendements  $m$  et  $n$  que l'on réalise par la vapeur et par les gaz.

Dans des conditions analogues, le rendement effectif de la machine à vapeur est de 14, celui du moteur à gaz pauvre de 22, chaudière et gazogène compris, c'est-à-dire à partir du combustible.

Le moteur Diesel était donc, dès 1897, non seulement le plus remarquable des moteurs à pétrole, mais de tous les moteurs. Il fallut concéder de nombreuses licences de construction en tous pays, en Europe et en Amérique : citons parmi les firmes concessionnaires de la M. A. N., MM. Krupp, Sulzer et Carels, en première ligne, puis la Société de constructions mécaniques de Breslau, la maison



Nobel, de Saint-Petersbourg, la Diesel-Engine Co. de Londres, l'Aktiebolaget Diesel de Stockholm, The Power et la Société Corliss en Amérique, etc. En France, M. Dyckoff fonda la Société française des moteurs Diesel, dont le siège social et les ateliers furent installés à Longeville, près de Bar-le-Duc : MM. Normand et Sautter-Harlé en prirent la suite ultérieurement.

Le type le plus généralement adopté par ces constructeurs et qui s'est le

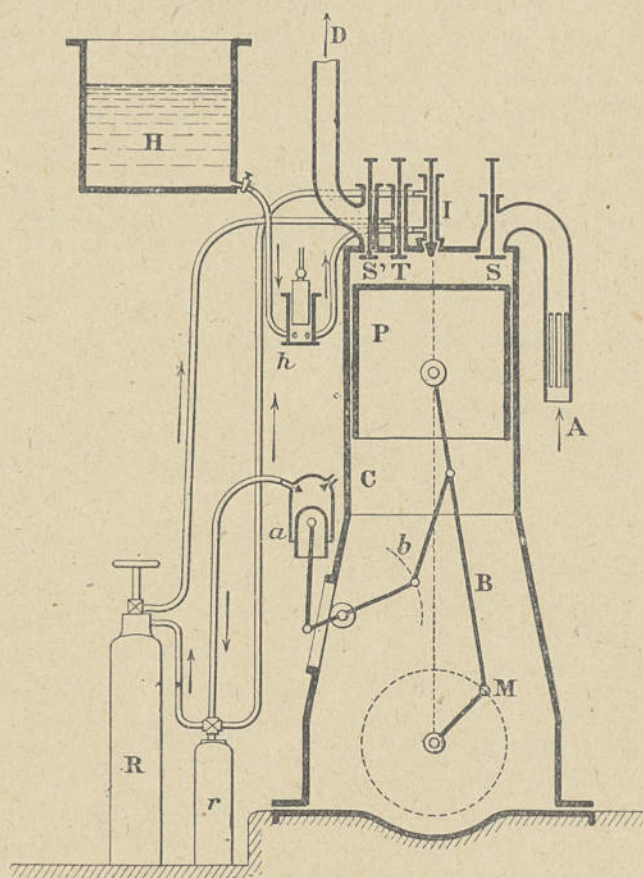


Fig. 248. — Schéma d'un Diesel à quatre temps.

plus répandu était celui qu'avait créé la M. A. N., à Augsburg. Ce modèle, extrêmement étudié, s'est survécu à lui-même, car on en retrouve les éléments dans toutes les machines construites depuis lors. Cette permanence des premières formes est une caractéristique rare, et par le fait remarquable, de ce type initial sorti des mains de ceux qui l'ont établi. C'est pourquoi nous le décrirons dans tous ses détails, avant d'aborder les monographies de ces machines.

Voici d'abord les grandes lignes du Diesel classique. Le moteur est vertical à pilon; il fonctionne à quatre temps; l'air pur est comprimé à 35 atmosphères environ dans le cylindre, par le piston moteur lui-même, dans la seconde phase du cycle. Ce piston moteur est relié directement à l'arbre de couche par une



bielle, sur laquelle s'attache une autre bielle plus petite actionnant, par un balancier, un compresseur d'air accolé contre le cylindre du moteur; celui-ci alimente un réservoir d'air comprimé renfermant l'air des chasses d'air, par lesquelles le pétrole est injecté et pulvérisé, ainsi que celui qui est nécessaire pour les mises en route. La pompe à pétrole est mue par une tringle spéciale, son débit est placé sous la dépendance du régulateur. Trois soupapes et l'injecteur de pétrole sont disposés sur le couvercle supérieur du cylindre; ces appareils sont commandés par un arbre de distribution à demi-vitesse, qui est actionné par un arbre vertical prenant, par roues d'angle, son mouvement sur l'arbre de couche de la machine. Les soupapes d'admission d'air et de décharge des gaz brûlés sont attaquées par cames et leviers à la façon habituelle; la soupape de mise en route par l'air comprimé est manœuvrée par un dispositif spécial, qui assure quelques tours du volant en admettant l'air et supprimant l'injection d'huile.

La figure 248 montre l'agencement général des organes du Diesel; la légende ci-dessous complète la description que nous venons d'en faire :

- A, manche d'entrée de l'air;
- S, soupape d'admission de l'air;
- C, cylindre moteur;
- P, Piston moteur;
- B, bielle;
- M, manivelle;
- H, réservoir de pétrole;
- h, pompe à pétrole;
- I, injecteur de pétrole;
- a, compresseur d'air;
- b, bielle du compresseur;
- r, réservoir d'air de chasse;
- R, réservoir d'air de mise en route;
- T, soupape de mise en route;
- S', soupape de décharge;
- D, tuyau d'échappement.

Avant d'aller plus loin, rendons-nous compte, sur la figure 249, de la manière dont s'effectuent les quatre temps; sur ces dessins, A est l'entrée d'air, P l'injecteur d'huile et E le départ des gaz brûlés.

Premier temps, I. Le piston descend. Appel d'air.

Deuxième temps, II. Montée du piston. Compression.

Troisième temps, III. Deuxième descente du piston. Injection, combustion et détente.

Quatrième temps, IV. Remontée finale. Évacuation.

Le pointillage indique en III le mélange en combustion et, en IV, les gaz brûlés.



On reconnaît sans trop de difficultés les temps successifs sur le diagramme de la figure 250, qui n'est plus un tracé théorique, mais une courbe réelle que j'ai relevée sur un moteur. La partie *mn* correspond à la phase de combustion; elle ne donne pas une ligne parallèle à l'axe des volumes, comme ce serait sur un moteur à gaz à combustion, notamment sur un Gardie.

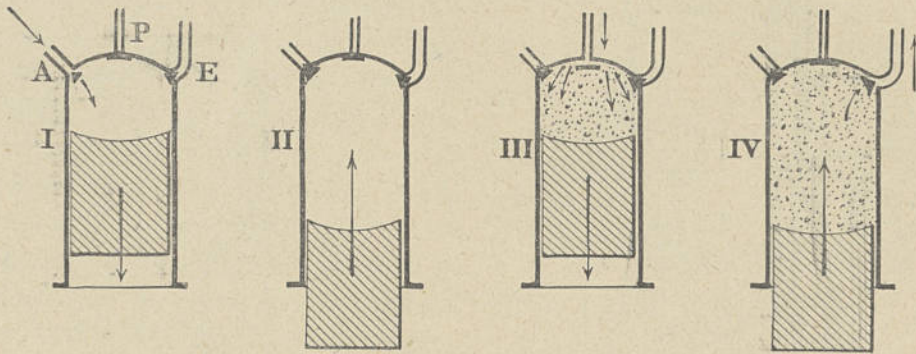


Fig. 249. — Les quatre temps du Diesel.

Ces préliminaires posés, nous pouvons entrer dans la description détaillée des organes principaux d'un moteur Diesel type, que nous avons appelé classique.

La machine repose sur un socle *S* (fig. 251), portant les paliers du vilebrequin et les attaches du bâti : il est d'une pièce, quel que soit le nombre des cylindres, au moins jusqu'à 6 cylindres; le nombre des paliers est égal à celui des cylindres. Les huiles qui tombent du cylindre et sont projetées par les bielles sont recueillies dans une cavité *C*, ménagée dans le socle. Le bâti, établi sur une base soigneusement rabotée et dressée, y est fixé à l'aide de boulons prisonniers dans le socle : une broche d'acier, pénétrant dans un trou percé après l'ajustement du bâti, permet de laisser quelque jeu aux boulons.

Une ouverture *O* du bâti livre passage au balancier actionnant le compresseur *A*, attaché aux côtés du bâti.

La partie supérieure du bâti forme l'enveloppe du cylindre, qui en est indépendant, afin de garder la liberté de sa dilatation; il est enfilé dans la chemise, et s'appuie contre celle-ci par deux épaulements extrêmes et un épaulement

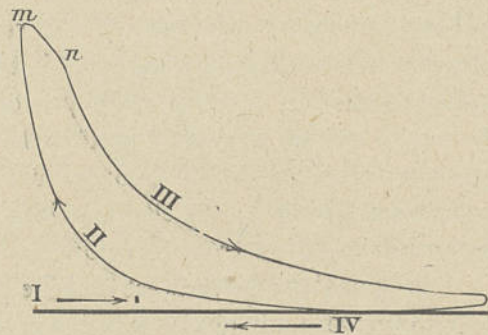


Fig. 250. — Diagramme Diesel.

moyen, lequel devra résister à la poussée transversale du piston, résultant de l'obliquité de la bielle. Généralement, l'épaulement inférieur est pourvu d'une



gorge, renfermant une bague en caoutchouc, qui assure l'étanchéité du joint cylindre-bâti.

Le cylindre est fait en fonte dure, coulée avec une forte masselotte : son alésage au sommet est un peu agrandi; on facilite ainsi l'entrée du piston et l'on évite de plus le gradin qui tend à se former à l'extrémité de la course. Sa

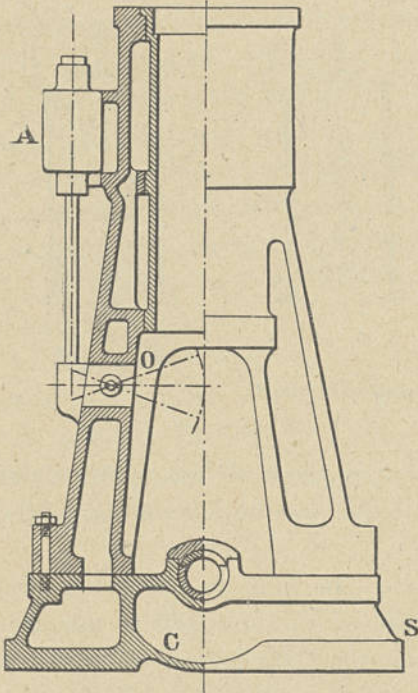


Fig. 251. — Socle et bâti Diesel.

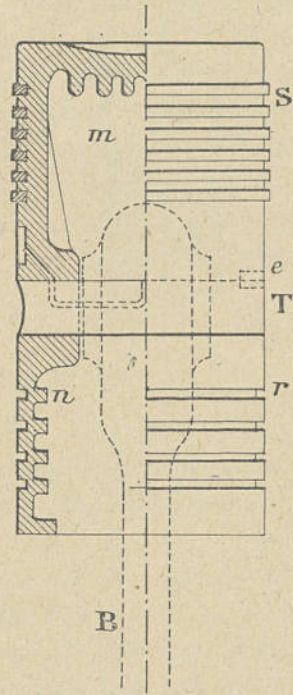


Fig. 252. — Piston Diesel.

longueur est telle que le piston, arrivé au bas de sa course, déborde notablement.

Le piston est le plus souvent d'une pièce (fig. 252); son épaisseur est plus forte dans la région des segments, qui sont au moins au nombre de six; plus mince à sa partie inférieure, il est renforcé par des nervures internes *n*. Les rainures *r* contribuent à garantir l'étanchéité. Le fond supérieur présente une faible concavité; il est soutenu par des nervures annulaires *m*. C'est la partie du piston qui est exposée à souffrir le plus, car elle est exposée à de très fortes pressions et à une haute température; dans les puissantes machines, on a été amené à refroidir artificiellement le haut du piston, mais il faudrait se garder d'une réfrigération trop énergique, qui nuirait à la combustion du carburant.

La région des segments est tournée à un diamètre réduit de quelques centièmes de millimètre, pour obvier aux inconvénients d'une dilatation excessive.

La manivelle attaque directement le piston par la bielle, sans interposition de crosse, pour ne pas trop allonger la machine; il n'est fait d'exception à cette règle que pour les plus puissants moteurs, dont on peut alors raccourcir les pistons.



Le vilebrequin se fait en une pièce même pour les 6 cylindres; les manivelles sont prises dans la masse du métal. Pour les 3 cylindres, les angles sont de  $240^\circ$ , de  $180^\circ$  pour les 4 cylindres et de  $120^\circ$  pour les 6 cylindres; il est nécessaire d'équilibrer les manivelles par des contrepoids.

La lubrification des paliers, ainsi que celle des têtes et pieds de bielle, est effectuée d'ordinaire par une circulation d'huile sous pression; une pompe spéciale est affectée à ce service. Un tube circulaire à 4 orifices distribue le lubrifiant au cylindre; un canal central percé dans l'axe du tourillon conduit l'huile au coussinet du pied de bielle. La tête de bielle reçoit de l'huile par un conduit qui l'amène du palier en traversant le vilebrequin et les coudes. Les huiles qui s'accumulent dans la cavité du socle sont refroidies, filtrées et restituées par une pompe au réservoir général.

La culasse est un organe important du Diesel; elle porte les soupapes d'admission et de décharge, le pulvérisateur-injecteur et la valve de mise en route par l'air comprimé, cette dernière se trouvant d'ordinaire sur une perpendiculaire à la ligne diamétrale des trois autres soupapes. La culasse est cylindrique à fonds plats; elle est traversée par une

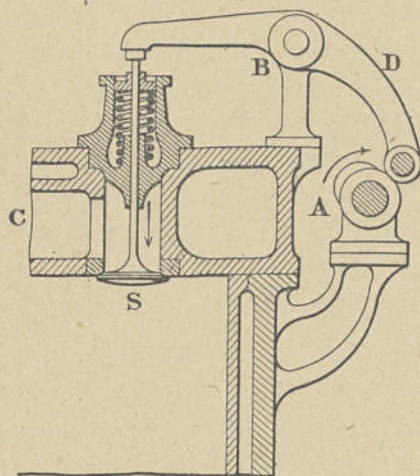


Fig. 253. — Culasse Diesel.

circulation d'eau réglable. On l'assujettit au sommet du bâti par de solides boulons. Toutes ses soupapes sont commandées par des leviers D (fig. 253), recevant leur mouvement des cames A, portées par l'arbre de distribution à demi-vitesse; les paliers de celui-ci reposent sur une console, boulonnée sur l'enveloppe extérieure du cylindre, c'est-à-dire sur le bâti lui-même. On peut enlever la culasse, sans avoir à démonter cet arbre.

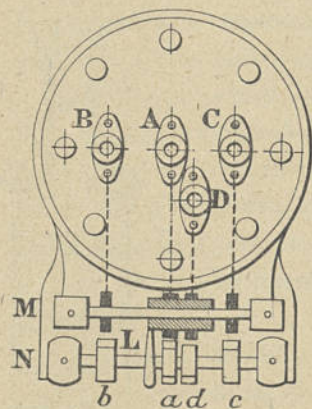


Fig. 254. — Distribution Diesel.

Sur la figure 254, N est l'arbre à cames; M représente les axes des leviers, tous indépendants les uns des autres. L'injection est actionnée par *a*, l'admission par *b* et l'échappement par *c*.

L est une manette, qui sert à opérer la mise en route : à ce moment, il n'y a pas à agir sur le pulvérisateur A, mais sur la valve D, qui admet l'air comprimé et fait mouvoir le moteur. On obtient ce résultat de la manière qui suit. Quand la manette est horizontale (fig. 255), elle amène un manchon excentrique dans



une position telle que le galet *m* du levier d'injection est hors de portée de la saillie *a* de la came, tandis que le galet *n* d'admission d'air comprimé en est rapproché. Au contraire, si la manette est verticale, c'est le galet *m* qui est sous l'emprise de la came. Pour mettre la machine en marche, on commence

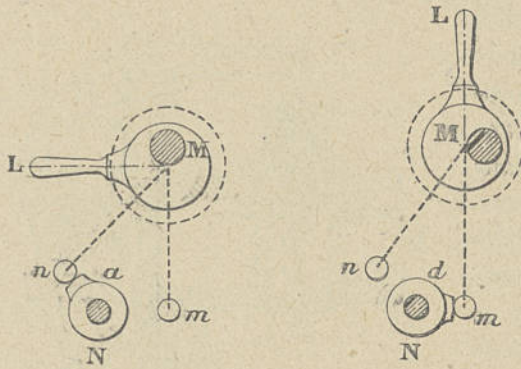


Fig. 255. — Mise en route Diesel.

donc par abaisser la manette et on ouvre le robinet du réservoir d'air comprimé; le moteur tourne et prend de la vitesse. Quand on juge que celle-ci est suffisante, on relève *L* dans sa position verticale; dès ce moment, le pulvérisateur entre en fonction, tandis que la soupape de mise en route reste sur son siège. C'est la position de la marche normale. Si la manette était placée à 45°, par conséquent entre ses positions extrêmes, aucun

des deux organes ne fonctionnerait plus et le moteur s'arrêterait; c'est donc un moyen de mettre fin à son travail.

Dans les machines polycylindriques, on se contente souvent de munir un seul cylindre de l'appareil *starler* que nous venons de décrire.

Arrivons au compresseur d'air: il faut de l'air sous pression, non seulement pour mettre en marche, mais aussi pour injecter le combustible liquide dans le cylindre au commencement du troisième temps; la pression nécessaire à cet effet doit être supérieure à celle que développe la compression, elle sera donc au moins de 46 kilogrammes au centimètre carré et pourra atteindre 75 kilogrammes. La pression du *self starler* peut être moindre, mais cette opération exige un plus grand volume; voilà pourquoi il existe deux réservoirs *r* et *R* (fig. 248), de capacité différente et de pression inégale. Un système de soupapes, de robinets et de tuyauterie les fait communiquer l'un avec l'autre, de manière à ce que, le cas échéant, par exemple après un essai infructueux de départ, on puisse faire passer de l'air de *r* à *R*.

Étant données les pressions considérables qu'il fallait développer, on a été amené, dès le début, à effectuer la compression en deux phases, entre lesquelles l'air se refroidit en traversant un serpentin de réfrigération entouré d'eau. D'ordinaire, un compresseur suffit pour deux cylindres, mais, dans les machines polycylindriques, on adjoint un compresseur à chaque cylindre; c'est plus coûteux, mais augmente la sécurité, car il faut toujours prévoir une défaillance pour un trop gros compresseur.



Fig. 256. — Compresseur Diesel.



Les compresseurs se placent commodément contre le dos des bâtis, leur axe étant parallèle à celui du cylindre, ainsi qu'on le voit sur la figure 251; on les actionne par un balancier, attaché à la grande bielle par une bielle, articulée sur la première en un point voisin du pied. Dans les plus puissants moteurs, le compresseur est commandé directement par une manivelle spéciale ou un excentrique, placé sur l'extrémité de l'arbre de couche.

La figure 256. montre, en coupe, un compresseur à deux phases : les deux cylindres sont superposés. Le fond du cylindre basse pression est sphérique et les deux soupapes sont disposées suivant deux rayons de la sphère; le couvercle du petit cylindre est lui-même sphérique sur notre dessin, mais on le construit souvent à fond plat. Les deux pistons ne forment qu'une pièce : ils sont en fonte et munis de bagues en fonte. Les soupapes, en bronze ou en acier, sont ramenées sur leur siège par des ressorts, mais un coussin d'air amortit leur retombée; on les fait aussi légères que possible. Le rôle du compresseur est considérable : aussi ne pourrait-on apporter trop de soin au calibrage parfait des cylindres et de leur piston, à l'usinage des segments et des soupapes, et à leur parfaite lubrification, qui doit être toujours suffisante, mais jamais excessive. On ne peut les graisser au compte-gouttes, car les fuites inévitables aux bagues empêcheraient l'huile de descendre; il faut employer un graisseur à pression, ou bien relier le compresseur à la distribution générale des huiles.

Il est prudent de monter une soupape de sûreté sur le refoulement, car on a vu des tuyaux éclater, par suite d'un engorgement quelconque. Les réservoirs, en acier, d'une longueur égale à cinq ou six fois leur diamètre, sont timbrés au moins à 90 kilogrammes; il y a souvent deux grands réservoirs de mise en route, dont l'un sert de réserve et renferme de l'air à haute pression : on compte qu'il faut une capacité d'un demi-litre d'air par cheval pour la chasse et d'au moins 5 litres pour les départs.

La pompe à huile combustible est, avec le pulvérisateur, l'âme du moteur. Cette pompe exige des soins particuliers dans sa construction, attendu que la tâche qui lui incombe est très difficile; on lui impose de vaincre une pression d'au moins 45 à 50 kilogrammes. Notons de plus que le réglage de la vitesse lui est confié : ce dosage du combustible à chaque coup moteur constitue l'opération la plus ardue que l'on puisse imaginer. L'organe doit être robuste et délicat.

Le dessin de la figure 257 permet de se rendre compte de la constitution de la pompe et de son mode d'installation, sous la dépendance du régulateur. Le piston plongeur P est en acier, les soupapes S et S' en bronze; on les fait à siège conique; pour le refoulement, il y en a souvent deux en série. Le piston est commandé par un excentrique.

On a commencé par opérer le réglage du débit en agissant sur l'excentrique; mais, aux charges très réduites, la quantité de liquide à refouler devient si minime, que l'on n'a plus aucune sécurité de fonctionnement. Il valait mieux



faire aspirer par le piston toujours la même quantité d'huile en excès, mais n'en diriger que la quantité nécessaire vers les organes d'utilisation. C'est ce qui a été fait.

La première solution adoptée n'était pas sans élégance. La pompe aspirait l'huile à travers une seule soupape, mais la refoulait à travers deux soupapes, dont l'une, libre, obéissait aux pressions exercées sur elle, alors que l'autre était sous la dépendance du régulateur qui pouvait, à un moment donné, la

paralyser dans son mouvement.

Que cette dernière soit maintenue sur son siège, tout le liquide sera refoulé par l'autre vers le pulvérisateur : supposons, au contraire, qu'elle soit libre de se soulever, le liquide prendra son chemin de ce côté, pourvu que ce chemin lui offre moins de résistance. Or, ce chemin conduit, par une voie largement ouverte, au réservoir d'aspiration, dans lequel l'huile est ainsi ramenée; de l'autre côté, vers le pulvérisateur, il y a une forte résistance à vaincre, celle qui s'oppose à l'entrée du liquide dans la chambre de compression du cylindre. Le régulateur fera passer l'huile d'un côté ou de l'autre : en lui

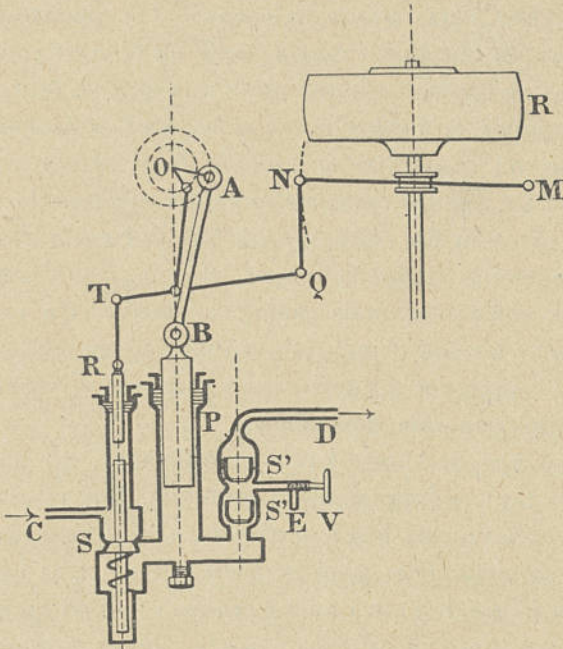


Fig. 257. — Pompe à combustible Diesel.

faisant déplacer un coin, interposé entre la soupape et une tige de commande, il libérera plus ou moins longtemps cette soupape, limitera plus ou moins sa levée et répartira l'huile entre les deux routes; il dispensera par conséquent l'huile au pulvérisateur, selon qu'il en sera besoin, pour maintenir une vitesse constante.

Pour des raisons que j'ignore, on a remplacé ce premier dispositif par celui de la figure 257. Maintenant, le régulateur n'agit plus sur le refoulement, mais sur l'aspiration; cela s'obtient de manière diverse. Voici un des systèmes les plus répandus. L'excentrique O fait osciller le levier QT autour du point Q; à ce levier est suspendue la tige TR, dont l'extrémité inférieure peut appuyer sur le prolongement supérieur de la soupape d'aspiration S. La course de l'excentrique est telle que la tige maintient cette soupape ouverte plus ou moins longtemps, pendant la course foulante du piston P; or, quand cette soupape est ouverte, rien ne passe plus à travers les soupapes de refoulement S'. Cet effet



dépend de la position du point Q, et par suite de la position donnée par le régulateur au levier MN.

Quelques constructeurs règlent l'ouverture de la soupape d'admission S en agissant sur elle par-dessous.

La vis à pointeau V permet de vérifier en marche ce que débite la pompe au refoulement; l'huile coule par l'ajutage E.

Nous avons déjà dit que la pompe doit être à même de fournir une quantité surabondante de liquide, soit environ 700 grammes par cheval-heure; au régulateur incombe de réduire ce débit. Une petite pompe à main permet de remplir le tuyau D reliant la pompe au pulvérisateur, lorsqu'il a été vidé par suite d'un démontage. On a de la sorte la facilité d'injecter une huile plus légère au départ. Il est avantageux de rapprocher ce tuyau de la conduite d'échappement quand on fait usage de mazouts épais et denses; on les réchauffe et on leur donne de la fluidité (1).

L'huile est puisée dans un réservoir à flotteur ou directement dans une bêche supérieure, à laquelle on donne une capacité d'au moins 10 litres par cheval de puissance nominale du moteur.

Le régulateur tournerait trop lentement si on le montait sur l'arbre de distribution à demi-vitesse; par contre, si cet arbre donne le mouvement à la pompe, celle-ci fournira en deux fois au pulvérisateur l'huile à injecter, ce qui ne présente pas d'inconvénient.

Dans les machines polycylindriques, on monte généralement une pompe par cylindre : s'il n'y avait qu'une seule pompe, on serait obligé d'installer sur la tuyauterie de refoulement un distributeur, ce qui ne laisse pas que de constituer une complication qu'il est préférable d'éviter. La multiplication des pompes donne d'ailleurs plus de souplesse au réglage.

Dans la plupart des moteurs on prévoit, pour faciliter l'emploi de certains carburants moins faciles à pulvériser, une mise en route à l'aide d'un combustible moins dense et plus fluide; on dispose à cet effet sur le tuyau d'aspiration un robinet à trois voies, permettant d'établir d'abord une communication de la pompe avec un second réservoir renfermant du lampant ou du gasöl.

La pulvérisation du carburant doit s'effectuer dans des conditions déterminées, si l'on veut obtenir un fonctionnement régulier et sans explosions.

Le pulvérisateur n'a pas la seule fonction de réduire le liquide en fines gouttelettes, de l'atomiser pour ainsi dire; c'est de plus un doseur, qui projette dans le cylindre la quantité qu'il faut au moment qu'il faut. C'est l'organe caractéristique et essentiel du Diesel. On a eu beaucoup de peine à le constituer dans sa perfection actuelle.

On voit sur la figure 258 les diverses dispositions qui ont été essayées d'abord

1. Quand on fait emploi d'huile de goudron, dont l'allumage est plus difficile, on adjoint une petite pompe auxiliaire, introduisant une goutte d'huile de pétrole, aux faibles charges inférieures au tiers de la puissance nominale.



dans les ateliers d'Augsbourg ; on a tout de suite eu recours à une aiguille conique, appuyant sur un siège de même forme : elle divisait le jet, mais insuffisamment. A la forme A, s'est substituée tour à tour celle de B, C et D ; dans ces appareils, on recourt à des butées coniques ou autres et à des orifices capillaires, qui

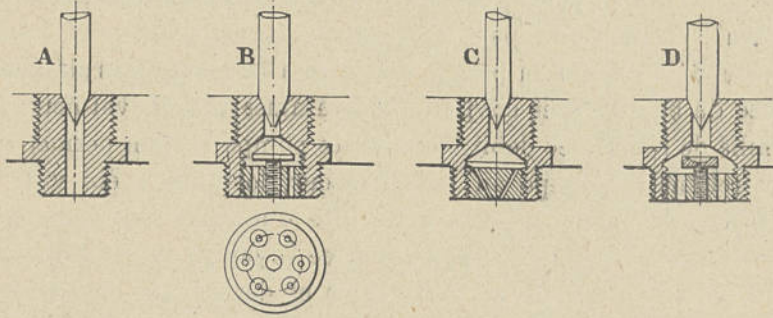


Fig. 258. — Premiers injecteurs Diesel.

contribuent à diviser la veine de liquide. Après de laborieux tâtonnements, on a abouti au pulvérisateur de la figure 259, qui est le type de l'espèce : nous allons le décrire avec soin. La vue de la figure 260 complète le dessin de l'appareil.

L'aiguille, terminée en pointe, poussée par un ressort énergique sur son siège conique, forme soupape : elle livre passage à l'huile venue de la pompe par D, aussitôt que sa came la soulève. L'huile s'accumule dans l'espace annulaire BC, garni de collerettes perforées, qui ont pour mission de diviser déjà le liquide, avant qu'il ne s'écoule. Dans cet espace règne la pression de l'air renfermé dans le petit réservoir, notablement supérieure à celle que la compression développe dans le cylindre : cette pression, dite de chasse, s'exerce par le tuyau E. L'aiguille est garnie à sa partie inférieure d'un cône, dont la surface présente des cannelures qui achèvent de rompre l'éjection de liquide et assurent sa pulvérisation. Du reste, l'orifice étroit, percé dans la pièce A, au débouché du cône, contribue encore à la production du brouillard carburé, qui va s'enflammer en pénétrant dans la culasse, dans l'atmosphère chaude et surcomprimée qui la remplit.

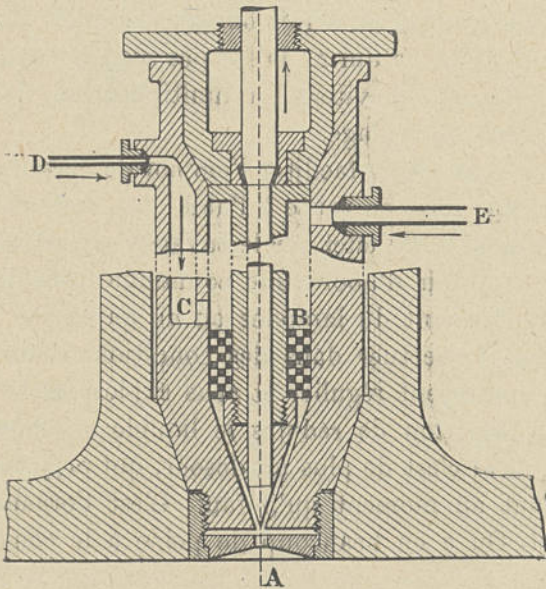


Fig. 259. — Pulvérisateur Diesel.

l'air renfermé dans le petit réservoir, notablement supérieure à celle que la compression développe dans le cylindre : cette pression, dite de chasse, s'exerce par le tuyau E. L'aiguille est garnie à sa partie inférieure d'un cône, dont la surface présente des cannelures qui achèvent de rompre l'éjection de liquide et assurent sa pulvérisation. Du reste, l'orifice étroit, percé dans la pièce A, au débouché du cône, contribue encore à la production du brouillard carburé, qui va s'enflammer en pénétrant dans la culasse, dans l'atmosphère chaude et surcomprimée qui la remplit.



L'aiguille est en acier, le tube qui la renferme en bronze, les collerettes et le cône cannelé en fonte le plus souvent : le diaphragme A se fait en acier.

Il est à remarquer que la levée de l'aiguille est toujours la même à tout régime de charge; il en résulte que si la pression de l'air de charge ne varie pas, la vitesse d'injection reste constante. C'est à la pompe seule qu'est dévolu le réglage, par le dosage du liquide fourni par chaque impulsion motrice. Cette dose met plus ou moins de temps à passer dans le cylindre; la durée de la période de combustion s'allonge par le fait. C'est ce que montrent les diagrammes à charge variable relevés sur un Diesel (fig. 261). Aux charges réduites, l'air continue à souffler, après que tout le liquide a été injecté : quelques-uns y ont vu un défaut, qu'ils ont voulu corriger en faisant varier la levée de l'aiguille et la durée de cette levée par l'action du régulateur. Mais il en est résulté une complication qui présentait plus d'inconvénients que l'imperfection qu'on cherchait à corriger.

La tige du pulvérisateur traverse une boîte à bourrage, dont l'étanchéité doit être surveillée : la garniture en est lubrifiée au graphite. Une vis permet de régler la tension du ressort, qui rappelle l'aiguille sur son siège.

Les Allemands donnent à ce système de pulvérisateur le nom de *tuyère fermée* (*Geschlossene Düse*) par opposition à un autre type désigné par les mots de *tuyère ouverte* (*Offene Düse*), qui tend à se substituer au premier modèle :

elle présente un certain perfectionnement. Au lieu d'être mise brusquement en communication avec la chambre de combustion du cylindre, la tuyère à huile reste constamment ouverte de ce côté; l'huile refoulée par la pompe s'accumule dans un tube coudé, formant siphon; une soupape d'amont s'ouvre au moment où l'huile doit être injectée dans le cylindre et établit une communication avec le récipient d'air comprimé destiné à opérer la chasse : l'huile est entraînée par le flux gazeux et projetée à travers les tôles perforées du pulvérisateur.

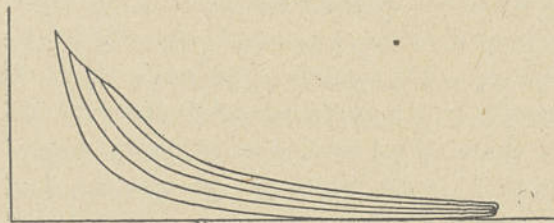
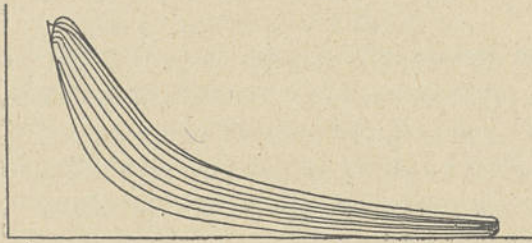
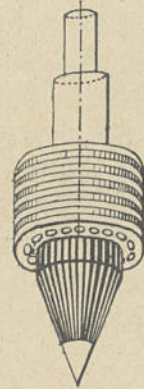


Fig. 261. — Diagrammes Diesel à charges variables.

Ce dispositif présente plusieurs avantages : d'une part, la pompe à pétrole a moins de travail à effectuer, puisqu'elle n'a plus à lutter contre la pression de



Aiguille.  
Fig. 260.



l'air comprimé; le refoulement du liquide dans le siphon s'effectue en effet durant la phase d'aspiration du cycle. D'autre part, dans la phase suivante, le pétrole a le contact de l'air comprimé dans le cylindre moteur et il est réchauffé par cela même, ce qui favorise sa gazéification et sa pulvérisation. Enfin, il a été constaté que l'injecteur s'encrasse moins facilement. Cet encrassement constitue une des faiblesses du moteur Diesel à injecteur fermé; on est obligé de retirer l'aiguille d'obturation tous les deux ou trois jours pour la nettoyer; il en résulte une sujétion qu'on évite avec l'injecteur ouvert, dont les orifices sont nettoyés à chaque insufflation d'air. Si une pratique prolongée confirmait ce fait important, l'avantage de l'injecteur ouvert serait mis hors de discussion.

Diesel est resté résolument partisan des hautes compressions de l'air de chasse, et il a déclaré que c'était dans cette voie qu'il fallait chercher un perfectionnement de l'injection. Il avait proposé de faire puiser la pompe à air dans la chambre de compression du cylindre moteur; mais cet air devait être filtré et refroidi, et il a renoncé à cet artifice.

On a aussi proposé de réchauffer les huiles avant de les injecter; cela dispenserait de recourir à l'emploi d'une quantité surnuméraire d'huile plus volatile (*Zündöl*), quand on marche aux huiles plus denses de goudron ou de paraffine, dont la viscosité et l'élévation du point d'inflammation menaçaient de devenir rédhibitoires (1). Je sais des cas dans lesquels cette adjonction d'huile d'allumage atteignait 7 % : c'était une sujétion fâcheuse qu'il importait de supprimer.

Il serait désirable aussi que l'on ne fût pas obligé de faire varier la pression de l'air de chasse aux divers régimes de charge, lorsqu'on emploie des huiles de goudron.

Les conditions de l'injection ont une grande influence sur le rendement et elles ont été l'objet d'études, dont les résultats sont d'ordinaire jalousement gardés secrets par leurs auteurs. Voici quelques considérations qui sont du domaine public. La quantité d'air insufflée à travers le pulvérisateur dépend de la section transversale du passage qui lui est ouvert et de la vitesse du courant. Le temps d'écoulement est toujours très court; malgré cela, il provoque une chute de pression de l'air de chasse; il est donc utile de surmonter l'injecteur d'une chambre de réserve ayant une certaine capacité. Le nombre des collerettes et la section totale des trous, qui y sont ménagés, contribue au débit du carburant et à sa bonne pulvérisation. Augmenter le nombre des collerettes revient au même qu'un réglage plus lent de la came. Il est inutile de prolonger outre mesure la levée de l'aiguille, si l'accès de l'air est limité par les sections des tuyauteries d'amont. Un manque de pression de l'air de chasse se manifeste par la production d'une fumée noire à l'échappement; trop d'air ou de pression

1. D'après la spécification d'Essen, les huiles lourdes de houille donnent 60 % en distillation fractionnée à 300°, et leur température d'inflammation est de 65°; or, j'ai essayé des huiles qui ne donnaient que 45 % et dont la température d'inflammation était voisine de 100°. L'emploi de telles huiles est nécessairement plus ingrat.



donne lieu à des coups durs. Il y a intérêt à ne point prolonger la durée de l'injection au delà de 35° après le point mort, car le volume de l'air introduit est proportionnel à la racine carrée de la différence de pression entre l'air de chasse et l'air dans le cylindre; or, cette dernière baisse rapidement avec la progression du piston, et une trop forte détente de l'air injecté entraîne un refroidissement nuisible à la combustion; on est obligé de donner une légère avance à l'injection, mais elle ne doit pas dépasser quelques degrés. Un excès se marque par une pointe au diagramme; le moindre retard aurait pour effet de produire un abaissement sensible de la ligne de combustion, qui n'est plus à pression constante.

On admet une avance de 20° à l'aspiration et de 35° à la décharge.

L'injection et la pulvérisation par une chasse d'air surcomprimé permet d'obtenir des diagrammes à pression sensiblement constante et une combustion très favorable; mais elle nécessite l'emploi d'un compresseur, plus ou moins encombrant, assez délicat, qui présente de plus le désavantage d'absorber près de 10 % de la puissance utile. Cette considération a conduit la maison Vickers d'Ipswich à pratiquer ce qu'on appelle l'injection mécanique, laquelle dispense de recourir à l'air comprimé. Le liquide est envoyé directement au pulvérisateur sous une pression extrêmement élevée, de quelques centaines de kilos par centimètre carré, capable d'imprimer au liquide injecté une vitesse de 30 mètres à la seconde, durant 1/32 de seconde, à travers un orifice de 3 dixièmes de millimètre de diamètre; l'huile traverse une soupape automatique, placée sur la culasse, qui étale le jet sur une nappe circulaire. On fait intervenir l'élasticité des métaux pour régulariser le phénomène, dont le réglage parfait ne laisse pas que de présenter des difficultés.

L'air aspiré dans le cylindre est le plus habituellement puisé dans la salle même du moteur; cette disposition contribue à la ventilation, mais elle est bruyante; on atténue le sifflement désagréable que produit l'appel d'air en taillant de longues fentes dans la manche d'adduction. Quelquefois, on fait déboucher celle-ci entre les pieds du bâti; l'espace dans lequel se meuvent les manivelles, insuffisamment clos, livre assez librement passage à l'air, pour ne pas gêner le fonctionnement : cette organisation supprime l'odeur désagréable d'huile brûlée que dégagent surtout les moteurs graissés trop abondamment.

Les tuyauteries d'échappement des machines polycylindriques aboutissent à un collecteur général, qui recueille tous les gaz et les conduit au dehors. Il est sage de placer un robinet de prise sur le tuyau de décharge, pour se rendre compte de l'état des gaz de l'échappement; sans avoir à sortir de la salle, on peut ainsi observer la couleur des produits de la combustion. On conseille même de placer un tel robinet à la sortie de chaque cylindre, car il peut arriver qu'un désordre ne se produise que dans l'un d'eux. La température de l'eau de réfrigération des cylindres doit pouvoir être contrôlée à tout instant; je ne vois aucun inconvénient à marcher à une température de 70°; en allure froide, on



s'expose à ne plus avoir une température suffisante dans la culasse, ce qui expose à obtenir un allumage défectueux et une combustion retardée dans le cylindre. Il en résulte quelquefois des explosions, qui ne sont pas sans danger.

La mise en route à l'air comprimé exige, pour être efficace, une admission d'environ 40 % de la course.

L'emploi d'une eau calcaire pour la réfrigération expose à des incrustations des enveloppes, qui peuvent être nuisibles; on élimine ces concrétions en faisant passer de temps à autre dans la circulation de l'eau acidulée à l'acide chlorhydrique.

Les constructeurs calculent généralement la puissance de leurs moteurs Diesel à quatre temps à simple effet par la formule

$$\mathcal{P} = 0,87. \rho. p_m. D^2. C. n.$$

dans laquelle  $\mathcal{P}$  est la puissance effective,  $\rho$  un coefficient variable de 0,75 à 0,80, suivant les moteurs,  $p_m$  la pression moyenne au diagramme,  $D$  le diamètre en centimètres,  $C$  la course du piston en mètres et  $n$  le nombre de révolutions par minute. La pression moyenne  $p_m$  pouvant être estimée à 7 kilogrammes, cette formule devient  $P = 4,5. D^2. C. n.$

Elle conduit à donner 45 centimètres de diamètre au piston et 1 mètre de course à un moteur appelé à développer 225 chevaux par 250 tours par minute. C'est bien ce que la pratique a confirmé. A moindre vitesse, de 140 tours, il faut un diamètre de 90 centimètres et une course de 0,900. Les moteurs d'Augsbourg du début mesuraient 40 centimètres pour 0 m. 60 de course pour développer 80 chevaux par 160 tours à la minute. Les moteurs marins des chantiers normands font 50 chevaux par cylindre pour un diamètre de 23 centimètres, 0 m. 25 de course et 300 tours. La formule répond aussi bien à la pratique qu'elle peut le faire.

Pour les deux temps et les machines à double effet, la puissance est doublée.

La vitesse des moteurs Diesel avait été fixée au début à près de 150 à 200 tours par minute, mais on fut amené bientôt à construire des machines à grande vitesse, dans le but d'augmenter leur puissance : c'est ainsi que se sont constitués des moteurs faisant de 350 à 400 révolutions à la minute. La puissance d'un moteur devrait être, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle au nombre de tours qu'il effectue dans l'unité de temps; toutefois, on ne double pas la puissance d'une machine en doublant sa vitesse, pour bien des raisons. Les diagrammes sont moins parfaits, le rendement volumétrique diminue, les contrepressions s'exagèrent, les frottements et autres résistances passives deviennent plus importantes et le rendement organique baisse sensiblement; par le fait même, le rendement thermique est lui-même réduit. Aussi la consommation des machines à grande vitesse est-elle moins brillante (1).

1. On a essayé de revenir au compoundage que Diesel avait inscrit à son programme dès le début, mais auquel on renonça bientôt. Les Diesel-Compound, qu'on a construits depuis lors, ne méritent plus leur nom, attendu qu'ils ne sont pas à combustion, dans leur cylindre haute pression, mais à explosion.



L'emploi du double effet conduisait aussi à des accroissements de puissance : chaque face du piston a son cycle complet, et les phases alternent sur ses deux côtés, d'où résulte que, pour chaque cylindre, on a une course utile par tour de manivelle. A encombrement égal, la puissance double, théoriquement du moins. Mais toute médaille a son revers ; les pistons sont soumis à des températures élevées, qu'il faut conjurer, au prix de sérieuses complications. La marine n'a pas reculé devant ces difficultés et elle a construit des 8 cylindres à double effet de 6.000 chevaux.

Le double effet a paru se prêter mieux aux moteurs horizontaux. Ce type présente d'ailleurs quelques avantages sur le vertical ; ses bâtis sont plus légers, ses organes plus aisément accessibles, et les démontages sont réellement facilités, notamment l'extraction des pistons. Par contre, ces modèles s'accouplent moins élégamment, et l'on ne peut accoupler plus de deux cylindres à double effet. Mais voici qui est plus grave : l'organisation de la chambre de combustion et du pulvérisateur a exigé de longues études, et soulevé des problèmes qui n'ont pas tous été résolus.

Ce qui précède explique la faveur dont jouissent les moteurs Diesel à deux temps, dont nous allons nous occuper maintenant ; ils donnent un coup par tour. A puissance égale, l'alésage de leurs cylindres est donc deux fois moindre.

Le schéma d'un Diesel à deux temps est celui de la figure 262.

Voyons d'abord de quelle manière il est possible de réaliser un fonctionnement à deux temps.

Dans la première phase du cycle, correspondant à la course montante du piston, celui-ci comprime l'air pur dans le cylindre ; le combustible y est injecté vers la fin de cette phase, et il y brûle à pression constante. Le piston redescend et la deuxième phase de combustion et de détente se poursuit dans la course descendante du piston.

En achevant sa course, le piston démasque une couronne d'orifices pratiqués dans la paroi, à travers lesquels s'effectue l'échappement des gaz brûlés, avec une certaine avance. A ce moment, de l'air modérément comprimé est admis dans le cylindre par une soupape placée à l'extrémité supérieure du cylindre et il se produit un balayage énergique, qui a pour résultat d'expulser tous les résidus de la combustion et de remplir le cylindre d'air pur. Le cycle est donc parachevé en deux temps, et le piston, en remontant, recommence la compression d'air. Une partie de l'air injecté s'échappe par les lumières ; la pompe qui le fournit au cycle s'appelle la pompe de rinçage. Elle est l'équivalent de ce que Dugald Clerck nommait *displacer*, dans son moteur à deux temps, prototype de tous ceux que nous construisons encore aujourd'hui.

On se rend aisément compte de la composition d'un Diesel à deux temps : on y retrouve le pulvérisateur, la pompe à huile, la pompe à air, à deux échelons, et deux réservoirs d'air comprimé, le grand dévolu à la mise en route, le petit à la chasse du carburant. Ces organes sont disposés de même, autour du cylindre



moteur, que dans la machine à quatre temps. Il y a en moins la soupape d'échappement, attendu que la décharge des gaz brûlés s'effectue par la couronne d'orifices, percés dans la paroi du cylindre et découverts par le piston, arrivé au bout de sa course, vers le bas; mais il y a en plus la pompe de ringage, qui est appelée à fournir un volume d'air égal à 1,5 ou deux fois la cylindrée motrice.

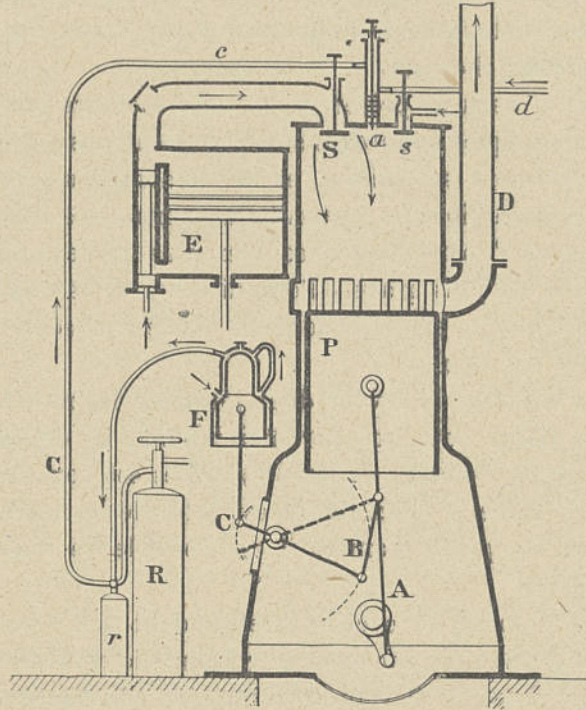


Fig. 262. — Schéma d'un Diesel à deux temps.

La légende suivante de la figure 262 complétera cette première description :

- P, piston moteur;
- A, bielle motrice;
- B, bielle de commande du compresseur d'air;
- C, balancier;
- F, compresseur d'air;
- R, réservoir de mise en marche;
- r, réservoir de chasse;
- c, tuyau de chasse;
- d, arrivée de l'huile au pulvérisateur;
- a, pulvérisateur;
- S, soupape de balayage;
- s, soupape de mise en route;
- b, orifices de décharge;
- D, conduite d'échappement;
- E, pompe de ringage, à double effet.



La pompe à huile n'est pas visible sur cette figure.

La commande de ces divers organes est obtenue par les mêmes moyens que dans les quatre temps.

Il est à remarquer qu'il n'a pas été fait usage, dans le Diesel proprement dit à deux temps, d'un carter fermé, dans lequel la face inférieure du piston comprime de l'air, ainsi que cela se pratique communément dans les moteurs à gaz à deux temps; la raison doit en être cherchée dans la puissance considérable de ces machines, qui obligerait à donner au carter de trop grandes dimensions, et rendrait d'autre part inaccessibles les organes de transformation du mouvement. Par contre, nous retrouverons tout à l'heure le carter clos dans

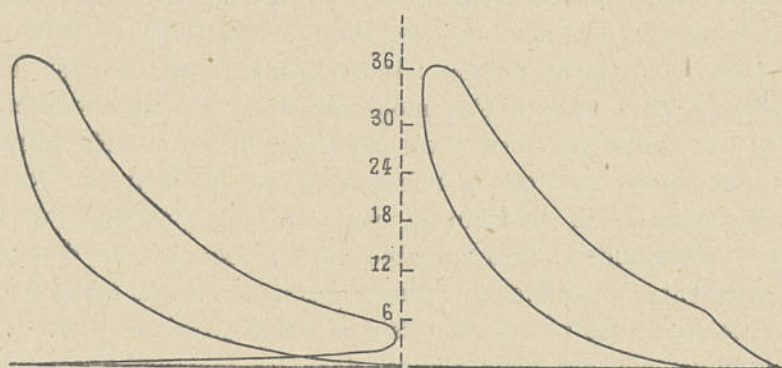


Fig. 263. — Diagrammes Diesel comparés à deux et à quatre temps.

des machines qui dérivent du type Diesel, mais n'en reproduisent que partiellement les caractéristiques essentielles, machines de puissance limitée et de construction simplifiée, dont nous formerons une catégorie à part.

Dans les Diesel à deux temps, du modèle classique, on comprime encore à 35 kilogrammes, pour ne point perdre de rendement; quant à la pression de l'air de balayage, elle ne doit pas être inférieure à 0,25 kilogrammes au-dessus de la pression atmosphérique, mais il n'y a aucun intérêt sérieux à porter l'excès au-dessus de 1 kilogramme, même dans les machines à grande vitesse.

Pour achever d'éclairer cette question, nous donnons ci-contre (fig. 263), les diagrammes comparés des Diesel quatre temps et des Diesel deux temps; relevés avec des ressorts de même flexion, ils se prêtent bien à la mise en parallèle de ces deux genres de machines, qui ne diffèrent en somme pas essentiellement l'une de l'autre.

Nous avons une dernière constatation à faire. Tous les moteurs Diesel jouissent de la propriété d'être réversibles, c'est-à-dire de pouvoir tourner dans les deux sens, propriété particulièrement importante pour l'application de ces remarquables machines à la marine. Le renversement de marche s'effectue différemment pour les quatre et les deux temps. Pour les premiers, on fait usage d'une double série de cames, l'une pour la marche AV, l'autre pour la



marche AR; elles sont montées sur le même arbre de distribution, et les cames de même fonction pour l'un ou l'autre sens sont adjacentes; pour intervertir la rotation, on fait glisser l'arbre de distribution le long de son axe, après avoir mis la manette de mise en route (la manette L des figures 254 et 255), dans la position où elle empêche l'actionnement aussi bien de la soupape d'entrée de l'air que du pulvérisateur; cette première manœuvre est en effet nécessaire, car il faut commencer par arrêter le moteur avant de lui donner un mouvement rétrograde. Le conducteur n'a à agir que sur un seul levier pour obtenir ce résultat; mais quelquefois on met sous sa main deux leviers, pour les machines polycylindriques; chaque levier commande alors une moitié des cylindres, de telle sorte que l'on continue d'alimenter les uns d'air comprimé alors que les autres reçoivent déjà du combustible. Pour les moteurs à deux temps, les dispositions ne sont pas les mêmes : la décharge qui se fait par la couronne d'orifices du cylindre ne peut être modifiée; il n'y a qu'à modifier la distribution d'air et d'huile. On obtient cet effet par un simple déplacement angulaire des cames. Il est vrai que le même angle ne convient pas pour la durée des diverses phases de la distribution, mais on peut s'arranger de manière à trouver une valeur moyenne, admissible pour l'ensemble, et donnant encore un fonctionnement acceptable. Quelques constructeurs ont inventé des dispositifs spéciaux, que nous serons amenés à signaler ultérieurement.

Le fonctionnement des deux temps, dans les moteurs à combustion, est en somme théoriquement et pratiquement très rationnel; il paraît même plus logique qu'en moteurs à explosion, surtout pour l'emploi des carburants liquides. Les pertes de combustible produites par le balayage n'existent plus dans les Diesel, puisque l'on n'injecte l'huile qu'au point mort succédant à la phase de compression; on ne comprime que de l'air pur dans le cylindre. Aussi le rendement des Diesel à deux temps est-il, à compression équivalente, presque égal à celui des Diesel à quatre temps. Ils se sont bien prêtés à la disposition horizontale et l'on a pu établir des moteurs à deux temps, de ce modèle, à grande puissance. Bref, ce type ne le cède en rien au type primitif à quatre temps, et il semble convenir plus particulièrement à la propulsion des navires, en vertu de son moindre poids et de son moindre encombrement, à puissance égale.

Les deux modèles ont leurs défenseurs. Les tenants des quatre temps font état d'une pression moyenne plus grande et de la possibilité de réaliser des vitesses supérieures. Ils reprochent aux deux temps la nécessité de l'adjonction d'une pompe de balayage, comportant de nombreuses soupapes; ils arguent de quelques accidents de cylindres, occasionnés par la couronne d'orifices d'échappement. Les partisans des deux temps revendiquent une meilleure régularité cyclique, permettant de réduire la masse des volants, ainsi qu'une plus grande facilité de démarrage : de plus, ils invoquent la possibilité d'une forte surcharge, obtenue en introduisant de l'air sous pression dans les cylindres. Aucun de ces arguments n'est absolument décisif en faveur de l'un ou l'autre type.



Ni l'un ni l'autre ne conviennent bien aux faibles puissances; de plus, leur construction est toujours difficile et leur entretien délicat, par suite des fortes compressions que l'on y pratique et des hautes températures qui s'y développent, et provoquent des effets de dilatation considérables. Il n'est pas permis à tous les ateliers de faire du Diesel; le Diesel ne convient non plus à toutes les industries. On a donc été amené à créer des modèles simplifiés, plus faciles à construire, d'une conduite moins astreignante et aussi d'un prix moins élevé, car il faut reconnaître que toutes ces machines sont coûteuses (1).

Ces moteurs, d'une construction moins onéreuse et d'une surveillance plus aisée, ont reçu le nom de *semi-Diesel*; on pourrait ergoter sur la convenance de cette appellation, mais cela nous paraît sans utilité. Nous préférons insister sur la véritable caractéristique de ces machines et sur la valeur qu'il faut leur accorder. Ce sont encore des moteurs à pétrole, à combustion, mais ils fonctionnent généralement en deux temps. La compression y est réduite et l'allumage du carburant n'est plus assuré par la forte tension et la haute température prise par l'air. Du chef de cette moindre compression, ces machines possèdent indiscutablement un rendement inférieur, mais il ne faut pas exagérer cette dépréciation comme le font quelques auteurs. En effet, j'ai démontré qu'à partir de 35 kilogrammes, il n'y a plus grand'chose à gagner et que, de 15 à 30 kilogrammes, l'amélioration du rendement, pour être réelle, pourrait ne pas compenser les difficultés de construction et d'entretien qu'entraînent avec elles les pressions élevées. Je dirai de plus que l'allumage spontané est un avantage, mais que ce n'est pas la principale raison d'être du Diesel.

Les semi-Diesel sont des moteurs à combustion dans lesquels la compression ne dépasse guère 15 kilogrammes; à défaut d'allumage se faisant automatiquement, on recourt à certaines dispositions qui le facilitent et le déterminent. L'artifice duquel on fait emploi le plus communément consiste simplement à amener le fond de la culasse au rouge sombre (comme le faisait Hornsby-Akroid), lors de la mise en route et à le maintenir à cette température quand le moteur est en marche. L'appellation de moteurs « à tête chaude », qui a été proposée, était en somme suggestive et exacte. L'huile est encore injectée dans la chambre de combustion du cylindre, mais on se préoccupe moins de la pulvériser : on se contente de briser le jet en le projetant contre une paroi rougie; le procédé suffit pour brûler convenablement des huiles très denses. La puissance spécifique est moindre que pour un Diesel; la pression moyenne au diagramme tombe de 7 à 3 kilogrammes. On s'estime heureux de ne consommer que 250 grammes d'huile par cheval-heure effectif et d'obtenir un rendement thermique de 20 à 25 %; il y a lieu de s'en déclarer satisfait, puisque les moteurs à pétrole à explosion ne s'accommodaient pas d'huiles aussi lourdes

1. D'après M. Du Bousquet, en 1911, un Diesel quatre temps, de 100 chevaux, coûtait 30.000 francs et un 1.000 chevaux 225.000 francs; cela faisait de 300 à 225 francs le cheval. Peu de temps avant la guerre, ces prix avaient subi une baisse légère, et ils étaient tombés à 275 et 200 francs. Aujourd'hui, le prix du cheval a presque quadruplé, en tenant compte des frais de transport et de montage.



et ne rendaient pas aussi bien. En somme, le semi-Diesel constitue un progrès sur ce qui se faisait autrefois en petites machines; il ne faut pas en exagérer la portée, mais on ne doit pas le méconnaître (1).

La figure 264 représente schématiquement les dispositions générales du semi-Diesel, de construction courante. Ainsi que dans la plupart des machines à deux temps, la distribution est effectuée par le piston moteur, sans l'intervention d'aucun arbre à cames, ni de soupapes commandées; parvenu vers l'extrémité de sa course motrice, il découvre deux rangées d'orifices percés dans la paroi du cylindre. Les orifices de la première rangée livrent passage

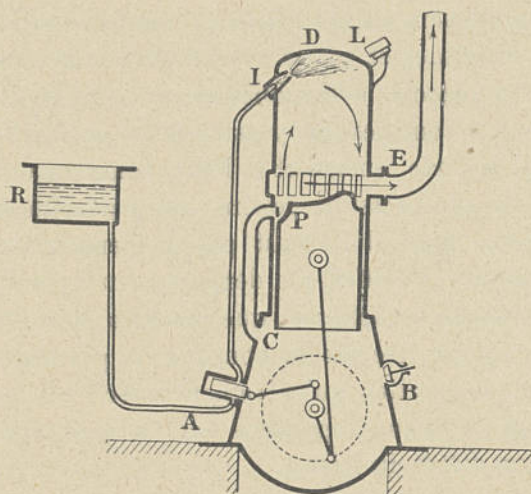


Fig. 264. — Moteur semi-Diesel.

aux gaz brûlés, presque entièrement détendus; ceux du deuxième rang, répartis sur une demi-circonférence, introduisent de l'air frais, dont la première fonction est de balayer les gaz résiduels de la combustion, et la seconde de remplir le cylindre d'air frais et pur, que le piston comprimera en revenant sur ses pas, lors du second temps. Pour assurer ce résultat, le piston porte un bossage, appelé déflecteur, qui empêche l'air de s'enfuir directement vers les trous d'échappement et l'oblige de s'infléchir vers la culasse. La compression de l'air

de rinçage s'effectue très simplement dans le carter; une soupape automatique s'ouvre, sous l'appel de la partie inférieure du piston, dans son ascension, et laisse entrer l'air. On économise ainsi les frais d'une pompe spéciale. La pompe à huile, installée sur l'enveloppe du carter, refoule le liquide nécessaire à chaque cycle et le projette vivement dans la culasse; un régulateur à inertie restreint ou supprime son débit.

La légende de la figure 264 suppléera aux insuffisances de cette description sommaire :

- P, piston moteur;
- I, arrivée de l'huile à l'injecteur;
- L, lampe de mise en route;
- C, carter-compresseur de rinçage;

1. Le moteur semi-Diesel ne fonctionne pas rigoureusement à combustion, mais quelque peu à explosion, attendu que le diagramme indique souvent un instant où la combustion s'opère à volume constant : on pourrait croire que son cycle est avantage de ce chef, et expliquer ainsi des consommations qui ne sont supérieures que de 20 % à celles du vrai Diesel, pour une compression bien moindre.



- B, soupape d'admission d'air au carter;
- A, pompe à huile;
- R, réservoir d'huile;
- E, tuyau d'échappement.

L'injecteur d'huile est la pièce essentielle du semi-Diesel : la pompe à huile A refoule le liquide vers la culasse; une soupape, pressée sur son siège par un ressort de tension réglable, ne cède que sous une pression déterminée et projette le carburant dans la culasse. Cet organe, plus robuste que précis, suffit à la tâche qui lui est dévolue, grâce à un tour de main que le conducteur acquiert rapidement.

La température de la culasse demande à être maintenue à la valeur qui convient à l'huile employée : trop froide, elle vaporise incomplètement; trop chaude, elle expose à un crackage et donne lieu à une allure explosive (I). On dispose de cette température par l'eau de circulation dans la culasse, et plus souvent par une injection d'eau, opérée par un organe spécial, analogue à celui qui distribue l'huile; mais quelques constructeurs se contentent d'installer un compte-gouttes sur l'entrée de l'air frais; d'autres introduisent l'eau dans la pompe à huile. On peut aussi envelopper la culasse d'une gaine en tôle, permettant de modérer plus ou moins le rayonnement extérieur des fontes chaudes, en démasquant des ouvertures qui limitent la circulation de l'air.

La forme de la chambre de combustion paraît jouer un grand rôle dans ces moteurs : on la fait le plus souvent sphérique, la moitié inférieure étant seule réfrigérée par l'eau de circulation; la calotte supérieure constitue ce qu'on appelle la cloche chaude. Le conduit débouchant au cylindre est désaxé, et l'injecteur est placé au sortir de ce canal; son jet est dirigé vers le haut, de manière à produire le meilleur brassage du combustible et du comburant.

La lampe L est une lampe à souder, alimentée d'essence; elle permet d'amener au rouge la partie de la culasse, touchée par la flamme, en une dizaine de minutes. La mise en route s'effectue quelquefois par l'air comprimé; dans ce cas, il faut adjoindre au moteur un compresseur auxiliaire, analogue à celui des moteurs Diesel; le cylindre porte alors une soupape spéciale, qu'on manœuvre à la main. On évite l'emploi de ce compresseur en utilisant les gaz de l'explosion, à l'instar de ce qui se fait pour les moteurs à gaz : le réservoir communique avec le cylindre moteur par une soupape, pressée sur son siège par un ressort, qui laisse passer un peu de gaz au moment où la pression passe par son maximum dans le cylindre. Chaque cycle produit une légère fuite, qui charge le réservoir par accumulation d'effet; on cale la soupape dès que la pression y a pris une valeur de 8 à 10 kilogrammes.

On facilite le démarrage du moteur en injectant d'abord de l'essence : on

1. C'est sans doute ce qui a fait ranger quelquefois les semi-Diesel dans la catégorie des moteurs à explosion; mais cette attribution est erronée.



ne passe aux huiles lourdes, qu'après une dizaine de minutes de fonctionnement, lorsque s'est établi le régime normal de marche.

Les mots suivants caractérisent très simplement et fort correctement les semi-Diesel : ce sont des Diesel à compression réduite, dans lequel l'allumage reste spontané, par allumage au contact d'une paroi portée au rouge sombre; l'emploi d'un injecteur mécanique et l'utilisation du carter, comme compresseur, les a débarrassés des pompes d'insufflation et de balayage. Ils sont robustes et de conduite facile, mais ne sortiront pas de longtemps de la classe des petits moteurs : la puissance par cylindre atteint au plus 80 à 100 chevaux. On achète de grandes sécurités de marche au prix d'une certaine augmentation de consommation d'huile. La disposition est verticale ou horizontale.

Les considérations que nous venons d'exposer, appuyées sur des croquis schématiques, d'une lecture aisée, devaient précéder les monographies des moteurs de construction diverse, que nous pourrions réduire considérablement, car nous n'aurons qu'à signaler les particularités qui les caractérisent. Elles sont en général peu importantes, et ne portent guère que sur des points de détail.

## MONOGRAPHIES

### 1. Diesel M. A. N.

Nous avons dit que c'est dans les ateliers d'Augsbourg de la *Maschinen-fabrik Augsburg-Nürnberg* que le moteur Diesel est né à la vie industrielle. Le premier moteur viable développait 10 chevaux. Il est représenté sur la figure 265, non pas absolument dans ses dispositions primitives, mais tel qu'il fut construit vers 1900. Les détails, dans lesquels nous sommes entrés ci-dessus, permettent de se rendre compte très aisément de la constitution de cette machine. La tige du piston avait une crosse de guidage K, ce qui assurait une étanchéité et une conservation meilleure qu'avec les très longs pistons à attaque directe, adoptés plus tard. Pour diminuer l'encombrement de la culasse, la soupape de mise en route Y à l'air comprimé était placée horizontalement et rejetée sur le côté. L'arbre de distribution recevait son mouvement par un arbre légèrement incliné sur la verticale : les divers leviers, qui actionnent les soupapes, sont bien visibles sur notre dessin. La pompe à air Q, à phase unique, était mue par le balancier X, alors que la pompe à huile B se trouvait commandée par l'arbre à cames. Le débit de cet organe, qui doit être aussi robuste qu'il est précis, était placé sous la dépendance du régulateur, de la façon qu'il a été dit ci-dessus. Au début, un bras, fixé sur la tige du piston, ouvrait la soupape de refoulement du liquide; la tringle reliant le bras à la valve, portait un écrou



à filet droit et gauche, que le régulateur tournait ou détournait, suivant le

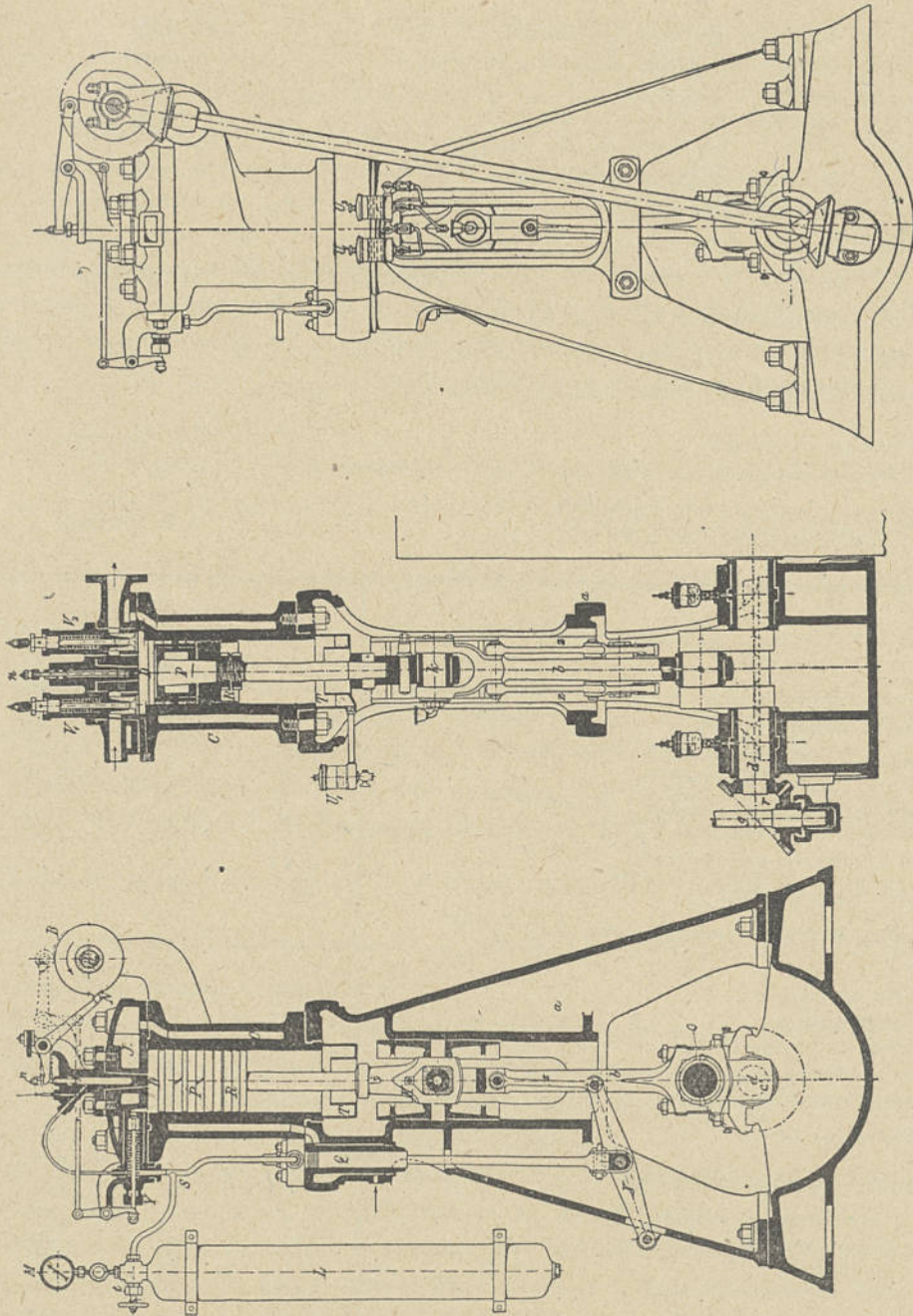


Fig. 265. — Diesel M. A. N.

besoin, en allongeant la tringle ou la raccourcissant. Mais on a employé bien d'autres dispositions, que nous devons renoncer à décrire.

Voici quelques données de construction d'un des premiers moteurs



d'Augsbourg, développant 70 chevaux par 160 révolutions à la minute (1).

|                                    |          |
|------------------------------------|----------|
| Diamètre du cylindre moteur.....   | 400 mm.  |
| Course du piston moteur.....       | 0 m. 600 |
| Longueur du piston.....            | 900 mm.  |
| Diamètre de l'arbre de couche..... | 200 mm.  |
| — du tourillon du coudé.....       | 210 —    |
| Hauteur totale de la machine.....  | 3 m. 670 |
| Diamètre du volant.....            | 3 m. 200 |

Ce moteur a pu développer plus de 86 chevaux effectifs aux essais : la puissance indiquée atteignait alors 106,4 chevaux, ce qui correspondait à un rendement organique de 81,4 %; ce rendement tombait à 79 % en charge normale.

Les observations suivantes sont intéressantes :

|   |                |
|---|----------------|
| Puissance effective.....                            | 69,63 chevaux. |
| Pression moyenne au diagramme du cylindre moteur... | 6 kg. 78       |
| — à la pompe à air.....                             | 19 kg. 5       |
| Travail de compression indiqué.....                 | 2,36 chevaux.  |

|  | CHARGE                                      |   |                   |                   |
|--|---|---|-------------------|-------------------|
|  | 2/4   | 4/4   | SURCHARGE         |                   |
| Nombre de tours par minute.....                | 162 kg. 0                                   | 160,2                                       | 159,9             |                   |
| Compresseur ... {                              | basse pression en kg.-cm <sup>r</sup> ..... | 5 kg. 4                                     | 6 kg. 4           | 7 kg. 0           |
|  |   | haute pression.....                         | 52 kg. 3          | 60 kg. 1          |
| Compression au cylindre moteur. {              | 1 <sup>er</sup> cylindre.....               | 36 kg. 0                                    | 35 kg. 1          | 36 kg. 7          |
|  |   | 2 <sup>e</sup> —.....                       | 36 kg. 0          | 36 kg. 0          |
| Puissance indiquée en chevaux. {               | 1 <sup>er</sup> cylindre.....               | 103,6                                       | 130,4             | 151,0             |
|  |   | 2 <sup>e</sup> —.....                       | 101,1             | 130,8             |
| Puissance indiquée totale.....                 | 204,7                                       | 261,2                                       | 298,4             |                   |
| Puissance indiquée au compresseur d'air. {     | B. P. chx.....                              | »   | 3,39              | »                 |
|  |   | H. P.....                                   | »                 | 3,43              |
| Travail total.....                             | »   | 6,82  | »                 |                   |
| Kilowatts développés.....                      | 98  | 132,4                                       | 158,2             |                   |
| Chevaux électriques.....                       | 133,1                                       | 180,1                                       | 216,5             |                   |
| Rendement de la génératrice.....               | 0,91  | 0,91  | 0,91              |                   |
| Puissance effective développée en chevaux..... | 146,3                                       | 197,9                                       | 237,9             |                   |
| Rendement organique total.....                 | »   | 0,80  | »                 |                   |
| Température de l'eau..... {                    | à l'entrée.....                             | 8 <sup>o</sup> ,7                           | 9 <sup>o</sup> ,0 | 9 <sup>o</sup> ,0 |
|  |   | à la sortie.....                            | 56 <sup>o</sup>   | 56 <sup>o</sup>   |
| Composition des gaz de la décharge.... {       | CO <sup>2</sup> .....                       | »   | »                 | 9,3 %             |
|  |   | O.....                                      | »                 | »                 |
| Température de ces gaz.....                    | »   | »   | 466 <sup>o</sup>  |                   |
| Consommation d'huile {                         | par cheval-heure indiqué.....               | 140,4                                       | 142,9             | 153,5             |
|  |   | en grammes. {                               | — effectif.....   | 196,9             |
| Calories par cheval-heure effectif.....        | 1.932                                       | 1.850                                       | 1.889             |                   |
| Rendement thermique effectif.....              | 0,327                                       | 0,342                                       | 0,334             |                   |
| Pertes : frottements et compresseur.....       | —   | 0,132                                       | 0,109             | 0,085             |
|  |   | réfrigération, rayonnement et décharge..... | 0,541             | 0,549             |

1. Voir : *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 1901, et *Zeitschrift des Oesterr. Ingenieure Vereins*, 1901.



Des modifications ne tardèrent pas à être apportées à la construction que nous venons de décrire : à la suite de la suppression de la crosse de la tige de piston, celui-ci fut allongé; le cylindre fut pourvu d'une chemise en fonte dure, à libre dilatation vers le bas; la soupape de mise en route fut placée verticalement, à côté des autres; la pompe à air fut construite à deux phases, etc. Si le rendement du moteur gagna peu de chose à ces nouvelles dispositions, la machine fut améliorée dans sa construction et son service.

Nous donnons au tableau ci-dessus les résultats d'essais, effectués à Munich, sur un Diesel de 200 chevaux à deux cylindres, en 1905 : ils présentent un grand intérêt théorique et pratique (1).

L'huile employée était celle dite paraffinöl, dont le pouvoir (sans doute inférieur, mais on ne l'a point dit) était de 9.810 calories au kilogramme; son prix aux 100 kilogrammes a été compté à 9,4 marcs, valeur d'avant-guerre, c'est-à-dire de 21,25 francs.

La régularité de cette machine est déjà remarquable : pour un moteur à un cylindre, on relève une valeur du coefficient d'irrégularité égale à  $\frac{1}{30}$ ; pour deux cylindres on trouve  $\frac{1}{70}$  quand l'arbre ne porte qu'un volant, avec deux volants et un contre-palier, cette valeur tombe à  $\frac{1}{140}$ . Ce résultat est excellent.

Dans le cours de l'année 1905, la Compagnie d'Augsbourg met en marche 244 cylindres Diesel d'une puissance totale de 8.750 chevaux; la puissance moyenne ressort à 35 chevaux par cylindre. La Russie est le principal acheteur de ces machines : elle possède plus de la moitié des moteurs Diesel construits à ce jour et les  $\frac{65}{100}$  de la puissance développée; l'Allemagne la suit de loin avec un quart des moteurs et  $\frac{21}{100}$  de la puissance. Ces pays ont la bonne fortune d'un pétrole à bas prix.

Un moteur de 200 chevaux à deux cylindres se vend alors 52.000 marcs, soit 65.000 francs.

Tous les constructeurs prennent à cette époque des licences de construction et le type M. A. N. se répand partout.

Il reçoit divers perfectionnements, qui ne sont peut-être pas de très grande portée, mais qu'on nous reprocherait de ne pas signaler.

On trouva utile de munir les pistons à leur partie inférieure, la plus sujette à usure, de patins en métal blanc, faisant saillie d'une fraction de millimètre; plus tard, on adapta des sabots en fonte, encastrés dans la partie où l'usure est moindre; en les déplaçant par un coin, on corrigeait l'ovalisation produite par le frottement.

1. Pöhlmann-Neuere Rohoelmotoren, tome I, page 16.



Dans les moteurs à grande vitesse, le pulvérisateur est légèrement excentré, par manque de place sur le couvercle de la culasse.

Les compresseurs sont généralement actionnés par une manivelle calée sur le bout de l'arbre de couche.

Le pétrole, venu d'un réservoir supérieur, traverse un récipient à niveau constant, mis en communication avec l'atmosphère au moyen d'un petit entonnoir, par lequel on peut introduire une huile plus légère, si cela devient nécessaire.

Pour faciliter la mise en route, on emploie un dispositif de décompression analogue à celui des moteurs à gaz : il suffit du reste de se donner le moyen de tenir une des soupapes ouvertes.

La puissance par cylindre ne dépassait pas d'abord 200 chevaux, ce qui

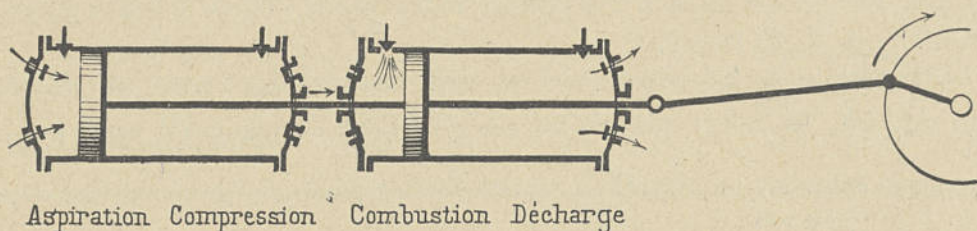


Fig. 266. — Schéma du Diesel M. A. N. horizontal en tandem.

permettait de produire 800 chevaux par un quatre cylindres; mais on est arrivé à sextupler la puissance unitaire du cylindre.

Les ateliers d'Augsbourg ont été des premiers à construire des machines horizontales : on les faisait jumelles ou en tandem; mais la multiplication des cylindres présentait des difficultés, qui conduisirent aux deux temps et au double effet.

Dans les machines à deux temps, la pompe de balayage est souvent à double effet, avec tiroirs cylindriques; quelquefois, on emploie un piston à deux diamètres, dont la partie de plus grand diamètre sert au ringage, l'autre à la compression; on restreint ainsi l'encombrement, mais l'échauffement de la pompe fait perdre un peu de masse pour le comburant.

Le moteur horizontal à double effet M. A. N. tandem fonctionne suivant le schéma de la figure 266 : il montre comment les quatre temps s'accomplissent pour un demi-tour de manivelle.

C'est pour la marine qu'ont été construits les deux temps, du type vertical; ce type présente le minimum d'encombrement, mais donne lieu à des élévations de température qui exigent des dispositifs spéciaux assez compliqués. On a établi des 1.200 chevaux à six cylindres de 800 millimètres de diamètre, 1 mètre de course, faisant 145 révolutions par minute.

Jusqu'en 1911, la Société M. A. N., liée par des licences d'exploitation, avait limité son activité à l'Allemagne et à la Russie; malgré cela, elle avait



déjà livré près de 2.700 unités, d'une puissance totale de 275.000 chevaux, soit d'une puissance moyenne de plus de 100 chevaux. Mais, à partir de cette époque, elle étendit sa zone d'action à la France, l'Autriche-Hongrie, l'Italie, l'Espagne, l'Angleterre et aux pays d'outre-mer, et sa clientèle mondiale se développa d'une façon remarquable. Nous n'insistons sur les succès de cette firme que dans le but d'exciter l'esprit d'entreprise de nos constructeurs français, qui ne se laisseront sans doute pas toujours dépasser par la concurrence allemande. Les brevets Diesel étaient déjà dans le domaine public en 1910 et, sans tomber dans le vulgaire plagiat, on pouvait dans nos ateliers nationaux construire des moteurs Diesel, empruntant leurs meilleures dispositions aux divers types que l'on avait créés au cours des vingt premières années de son application.

\* \* \*

Avant d'entrer dans le détail des monographies, signalons les maisons françaises qui se sont déjà fait une spécialité des Diesel : ce sont les suivantes. Société de constructions mécaniques (Garnier et Faure-Beaulieu), à Paris; Établissements Delaunay-Belleville, à Saint-Denis; Dujardin et C<sup>ie</sup>, à Lille; les chantiers de la Loire; Schneider (Creusot) et Leflaive (Saint-Étienne); Société des gazogènes et installations économiques (Paris); Société des moteurs à gaz et d'industries mécaniques (Paris); Chantiers Normand (Le Havre), etc.

L'Allemagne détient le record de cette construction; je citerai les maisons suivantes : Gasmotorenfabrik Deutz; Güldner Motoren Gesellschaft, à Aschaffenburg; Benz, à Mannheim; Dingler à Zweibrücken; Ascherslebener M. A. G., à Aschersleben; Körting, à Hanovre; Siegener, U. A. G., à Siegen; Görlitzer Maschinen Anstalt, à Gorlitz, etc.

En Suisse, la firme Sulzer frères et sa concurrente la Société pour la construction des locomotives, toutes deux établies à Winterthur <sup>(1)</sup>, se sont fait une brillante réputation parmi les meilleures marques de moteurs Diesel. Joignons-y MM. Carels frères, de Gand, et l'Anglo Belgian C<sup>o</sup>, de la même ville, qui soutiennent l'honneur de la construction belge, à côté de John Cockerill, de Seraing.

En Autriche, on peut citer la Gratz Waggon und Maschinenfabrik; en Russie, les ateliers Nobel à Saint-Pétersbourg; en Hollande, la Neederlandsche Fabrick van Werktuigen, plus connue sous le nom de Diesel-Werkspoor, dont le siège est à Amsterdam.

L'Italie a participé largement au développement des Diesel, par les maisons Tosi à Legnano, Kind à Turin, Gio Ansaldo à Cornigliano, etc.

La Diesels-Motorer Aktiebolaget de Stockholm, la Polar, la Svensons Motorfabrik (Avance motorn) sont des marques connues suédoises : joignons-y les machines de MM. Burmeister et Wain à Copenhague. Enfin, en Angleterre,

1. La maison Sulzer a créé une filiale en France, sous le nom de Compagnie de Construction Mécanique, Procédés Sulzer.



nous trouvons la New London Ship and Engine Co, The English Electric Co (Diesel-Willans Engine), la Scott's Co de Greenock, MM. Vickers, etc.

Toutes les machines que nous venons de citer, dérivent plus ou moins directement du type créé à Augsburg : je m'exposerais à d'interminables redites, si j'entreprenais de tracer une monographie complète de chacune d'elles, et me contenterai donc d'une brève étude, avec indication sommaire de telle ou telle particularité de constitution.

## 2. Diesel-Carels.

Les établissements Carels, qui étaient devenus dès le début concessionnaires des brevets Diesel, s'adonnèrent à leur exploitation vers l'année 1898, et se placèrent dès ce moment au premier rang parmi les constructeurs des moteurs à combustion interne. En 1905, ils exposaient à Liège une machine de 500 chevaux, qui fut remarquée parce qu'elle était alors la plus puissante de l'espèce : MM. Schneider, du Creusot; Vickers, de Barrow; Reiherslieg, de Hambourg et d'autres encore obtinrent des licences, en même temps que les ateliers de Gand, considérablement développés, permettaient de servir une clientèle répartie dans toutes les parties du monde. En 1910, une unité de mille chevaux à un cylindre était établie et donnait d'excellents résultats : en même temps, un moteur du type marin à deux temps, directement réversible, passait au banc d'essai.

Au delà de 700 chevaux, la maison Carels proposait des moteurs à deux temps, et elle dépassait bientôt cette puissance en construisant des machines à double effet.

Nous signalerons rapidement les caractéristiques spécifiques des Diesel-Carels.

*Quatre temps vertical.* — Le fond du piston présente une grande surépaisseur et il forme une cuvette concave, étudiée en vue d'assurer une combustion complète du carburant injecté à travers le pulvérisateur. Les soupapes des moteurs de grande puissance sont réfrigérées par une active circulation d'eau : mais les sièges ne sont point refroidis. Une seule pompe à huile peut desservir trois cylindres; le liquide leur est distribué sous le contrôle d'une vis de réglage, qui assure sa bonne répartition; une valve empêche les retours d'huile. La pompe a son axe horizontal et elle est commandée par un excentrique, calé sur l'arbre vertical transmettant le mouvement à l'arbre à cames; un second excentrique, monté en dessous du premier, sur un manchon, placé sous la dépendance du régulateur, est chargé de régler le débit du liquide, en agissant sur la soupape d'aspiration. Un levier permet de la maintenir ouverte et d'arrêter la machine par ce moyen. Une petite pompe à main est utilisée pour remplir d'huile les tuyauteries, avant de mettre en marche. Un dispositif spécial donne au conduc-



teur le moyen de disposer de la vitesse moyenne maintenue par le régulateur.

La compression est commandée par une manivelle portée par l'extrémité de l'arbre de couche. Ce compresseur est du type Reavell, dit quadruplex, parce qu'il comprend quatre cylindres en étoile, dont les pistons sont attaqués par un vilebrequin à un seul maneton : il comprime en trois échelons. Le premier temps de compression s'effectue dans deux cylindres, montés en parallèle dans le bras horizontal de la croix, formée par les axes des cylindres; l'air est admis par les tourillons des pistons, munis d'une soupape appropriée; de là, il est refoulé à travers un serpentín et un receiver, refroidi par une circulation d'eau, dans le troisième cylindre à axe vertical, occupant la partie supérieure de la croix; il passe enfin au dernier cylindre. Tout l'ensemble est entouré d'une enveloppe réfrigérante; les têtes de bielle, à maneton sphérique, se prêtent à un démontage aisé.

Le cylindre est graissé par une série d'orifices rangés sur une circonférence; une soupape règle l'entrée de l'huile, de manière à ce qu'elle ait lieu au moment où le cercle supérieur arrive à la hauteur des trous de graissage.

Le régulateur agit en donnant de l'avance à l'injection du carbure.

MM. Carels construisent des groupes à cinq cylindres; cette disposition, rarement adoptée par les autres constructeurs, donne des résultats satisfaisants à divers égards.

Grâce à une injection supplémentaire de pétrole lampant, on a employé avec succès des huiles de goudron à 8.800 calories.

*Deux temps.* — La pompe de balayage est à double effet et commandée par balancier : la distribution se fait par tiroirs. On en monte deux dans les machines à six ou huit cylindres.

Le piston est parcouru par un courant d'eau pour les puissants moteurs : la tige du piston porte une crosse; les guidages sont refroidis.

MM. Carels ont créé un type à deux temps de 1.000 chevaux, qui a été installé dans plusieurs centrales électriques. Cinq de ces remarquables moteurs sont appliqués à l'épuisement des cales sèches des docks de Liverpool.

Dès 1910, ils ont mis en marche une machine monocylindrique de 1.200 chevaux.

*Moteur marin.* — Il est à deux temps : on diminue ainsi l'encombrement. Pour le changement de marche, un dispositif décale les cames actionnant les soupapes de balayage pendant que l'arbre qui les porte continue de tourner, sans qu'on ait à l'arrêter. Quant aux soupapes de combustible et de mise en route, elles forment deux jeux que l'on substitue l'un à l'autre pour intervertir la rotation. Le mécanicien n'a qu'à agir sur un petit volant de manœuvre, qui supprime l'arrivée de l'huile, met en action les soupapes de lancement pour la marche arrière et livre graduellement du combustible aux cylindres successifs. Un cadran marque la position de stop, ainsi que le nombre de cylindres qui pendant la manœuvre marchent à l'air ou au pétrole. Il suffit de sept secondes



pour faire marche arrière avec un moteur de 2.000 chevaux. On a tiré parti de la compression dans les cylindres moteurs : le pétrole étant coupé, les soupapes de démarrage se lèvent, et les pistons du moteur freinent sur un coussin élastique d'air comprimé, qui ralentit la rotation et l'inverse. Le carter est ouvert : l'attelage moteur est par suite visible et facilement accessible.

Ces moteurs ont été appliqués avec succès à la propulsion des sous-marins. L'amirauté anglaise a commandé à la maison Carels des machines de 1.500 chevaux; un modèle de 2.000 chevaux a été exposé à Gand, en 1913, et ses dispositions ont été l'objet d'un rapport flatteur du professeur Boulvin.

Les ateliers de la Société d'Électricité et de Mécanique de Gand exploitent les brevets Carels et Thomson-Houston.

### 3. Diesel-Sulzer.

MM. Sulzer frères avaient contribué à l'établissement du type primitif, sorti des ateliers M. A. N., et ils en ont conservé les dispositions principales, sans y apporter de grands changements, mais en s'efforçant de les perfectionner toutes.

Le piston des Diesel porte toujours un trou fileté, destiné à recevoir le piton, auquel on accroche le crochet du palan, à l'aide duquel on retire ce piston du cylindre vertical; dans le moteur Sulzer, ce trou est utilisé pour recevoir un cône, sur lequel le jet de liquide sorti du pulvérisateur se brise et se divise. Quelquefois on se sert de ce même trou pour fixer, sur le fond, un disque d'acier au nickel, logé dans un évidement de la fonte; on pare de la sorte à la forte usure produite par le jet.

Les collerettes perforées du pulvérisateur sont en fonte. Le levier de commande de cet organe n'agit pas directement sur l'aiguille, mais il exerce sa pression sur un petit arbre horizontal, de section amincie, qui subit une torsion et fait ressort. On arrive de la sorte à reporter ce levier sur le côté de la culasse, ce qui permet de démonter le pulvérisateur en laissant en place la distribution.

La visite des soupapes obligeait dans les premiers modèles de démonter d'abord l'arbre fixe avec tout le système des leviers. Mais MM. Sulzer et d'autres constructeurs ont bientôt réussi à éviter ce démontage, qu'il faut souvent répéter, en recourant à divers dispositifs aussi ingénieux que pratiques. Un de ceux qui ont été le plus fréquemment employés consiste à construire les leviers en deux parties, assemblées par un boulon, effectuant un serrage sur deux clavettes : en desserrant ce boulon, on dégage les clavettes et le levier divisé en deux morceaux permet alors d'enlever les lanternes. La soupape à laquelle s'applique d'ordinaire cette construction est celle d'admission du combustible, qu'il y a lieu de visiter et de nettoyer à intervalles très rapprochés. Souvent, on a remplacé une des clavettes par une vis de pression avec



contre-écrou; cela permet de régler à volonté le jeu entre le galet et la came, et cette facilité constitue un réel avantage.

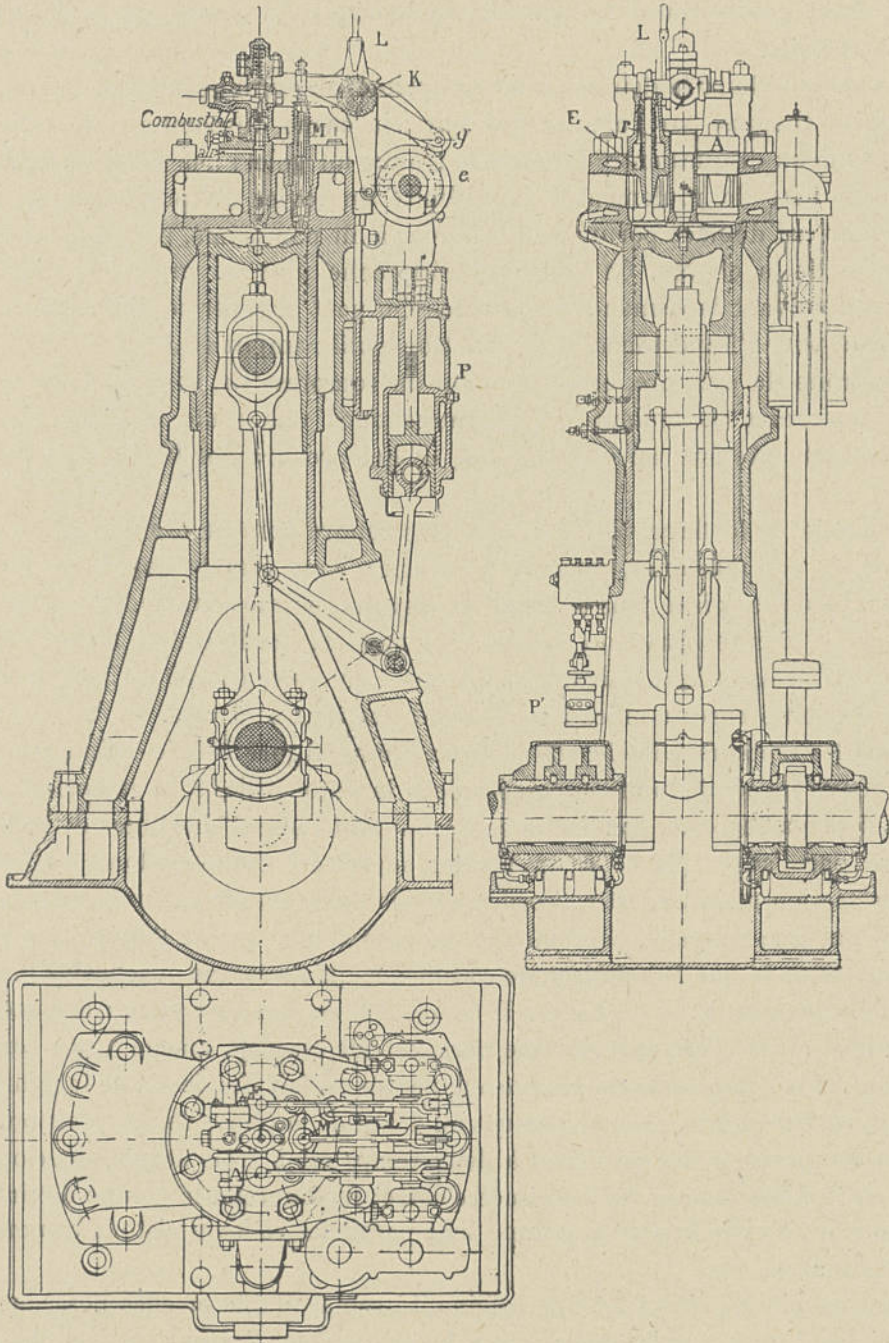


Fig. 267. — Diesel Sulzer.

Dans les moteurs à grande vitesse, les leviers longs et lourds adoptés d'abord présentaient beaucoup d'inconvénients; ils étaient bruyants et ils donnaient



lieu à des ruptures. Cela amena les ingénieurs de la maison Sulzer à les supprimer quelquefois et à faire agir directement la came sur la tête des tiges de soupapes, celle-ci étant guidée dans une glissière cylindrique; la came tourne alors dans un bain d'huile.

En vue de réduire la dépense d'air comprimé, on diminue la levée de l'aiguille aux faibles charges, par l'artifice qui suit : la came du combustible est constituée par deux disques entre lesquels se trouve un galet; leur contour extérieur forme une base de roulement à l'extrémité du levier du pulvérisateur, dont l'autre bout est déplacé par un servo-moteur à air comprimé, par lequel s'exerce l'influence de la charge. Ce levier se rapproche plus ou moins du galet qui l'actionne, suivant la demande du travail. On peut trouver ce dispositif un peu compliqué pour l'importance de la fonction qu'il remplit (1).

Les tiroirs du cylindre, basse pression du compresseur, sont du type Guter-muth, aspirantes et foulantes, renfermées dans une seule lanterne, dont le logement est extérieur au compresseur, ce qui procure des facilités de démontage.

Le dessin de la figure 267 permet de se rendre compte des détails de construction de ces machines, dont la réputation s'est établie depuis de longues années; il s'en est placé plus de 200.000 chevaux, en moteurs de 20 à 4.000 chevaux, dans tous les pays du monde. Un type K, entièrement fermé, faisant de 187 à 375 révolutions, suivant la puissance qui varie de 100 à 1.000 chevaux, a reçu de nombreuses applications dans les stations centrales.

Dans les moteurs Diesel-Sulzer à deux temps, figure 268, le cylindre moteur porte deux rangées de lumières percées dans la paroi. Elles sont superposées : le piston livre passage aux gaz brûlés en découvrant l'une d'elles; l'air de balayage pénètre par l'autre placée à un niveau supérieur. Celle-ci, dont les orifices sont de section moindre, est raccordée avec la pompe à air par une canalisation, coupée par une soupape, commandée par une came, qui ne l'ouvre que tardivement, de sorte que le balayage ne commence qu'après une évacuation presque complète des gaz de la décharge. Il en résulte un heureux effet : le piston ne comprime que de l'air pur; d'autre part, cet air est déjà amené à une certaine pression, et la compression se trouve augmentée du fait. Le dessin de la figure 269 montre comment les choses se passent au début de la phase de compression.

Le compresseur des machines à deux temps est à trois degrés, développant 3, 20 et 70 kilogrammes par centimètre carré; il comprend la pompe de ringage; les axes des 3 cylindres de la pompe sont parallèles et leurs pistons commandés par balanciers.

Ces machines présentent une originalité remarquable et elles possèdent des qualités pratiques, sur lesquelles nous devons appeler l'attention. Les chambres de l'espace neutre ont la forme la plus favorable à la combustion, celle d'une lentille biconvexe, et il en résulte une augmentation de rendement, en même

1. Ce mécanisme est décrit page 235, figure 183, dans les *Motori Diesel* de G. Supino.



temps qu'un accroissement de sécurité. Les pistons moteurs sont refroidis, soit à l'eau, soit à l'huile : le liquide est évacué librement par de larges tubes à joint télescopique; ce dispositif breveté supprime tout presse-étoupe. Toutes les lumières du cylindre sont recouvertes par le piston pendant la combustion et en période de hautes pressions. On évite ainsi la brûlure des sièges et les gaz

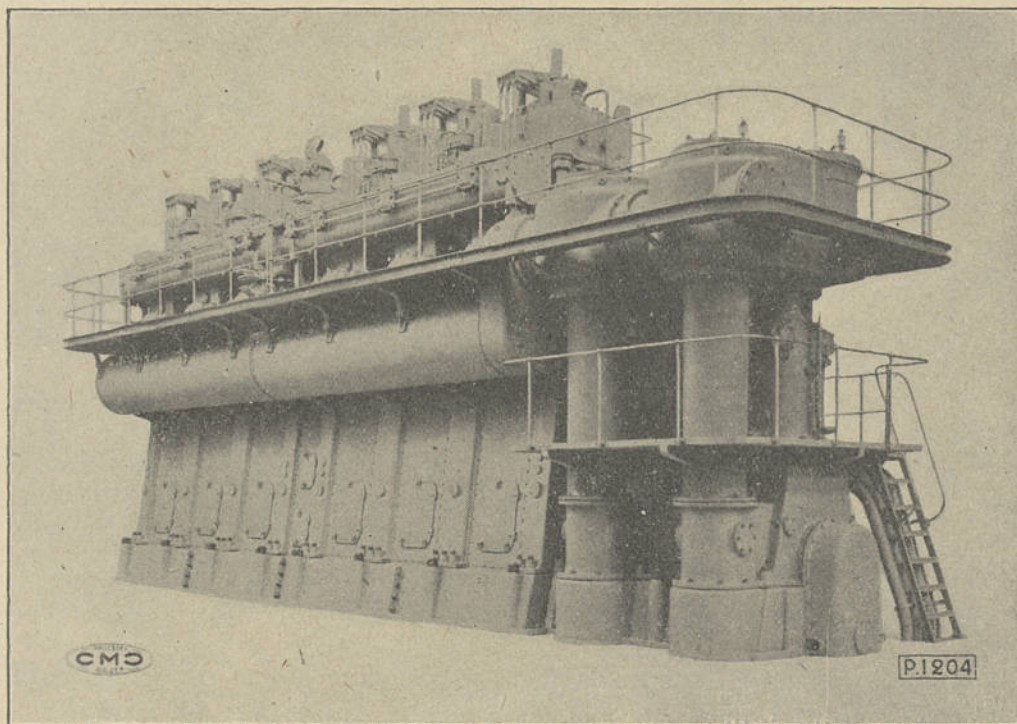


Fig. 268. — Diesel Sulzer à deux temps.

sont mis dans l'impossibilité de parvenir dans le receiver de balayage et d'y provoquer des explosions.

Le réglage de ces moteurs offre un intérêt particulier : nous le décrivons d'après la figure 270. Le régulateur A limite l'admission d'huile en modifiant la durée de l'ouverture de la soupape d'aspiration de la pompe à combustible B : il déplace le tiroir d'étranglement D, situé dans l'aspiration du premier étage du compresseur d'injection, dont la fonction est de proportionner le volume d'air à la quantité de combustible injecté. Celle-ci influe du reste sur la résistance du pulvérisateur V. Il s'ensuit que pour empêcher, lors d'une diminution de la charge du moteur, un écoulement disproportionné d'air d'injection froid, ce qui nuirait à l'allumage et provoquerait une chute de pression dans la bouteille d'injection E, il faut aussi faire varier la levée et la durée d'ouverture de l'aiguille à combustible. Le servo-moteur S intervient alors pour opérer cette variation et suppléer à l'impuissance du régulateur. A cet effet, le servo-moteur



est mis en communication avec le réservoir R à basse pression. Son piston supporte d'une part la poussée d'un ressort, de l'autre, la pression de l'air comprimé dans le premier étage du compresseur. Ce dispositif assure une combustion irréprochable à toute charge. Le tiroir de laminage P y contribue, et complète ce remarquable agencement d'organes.

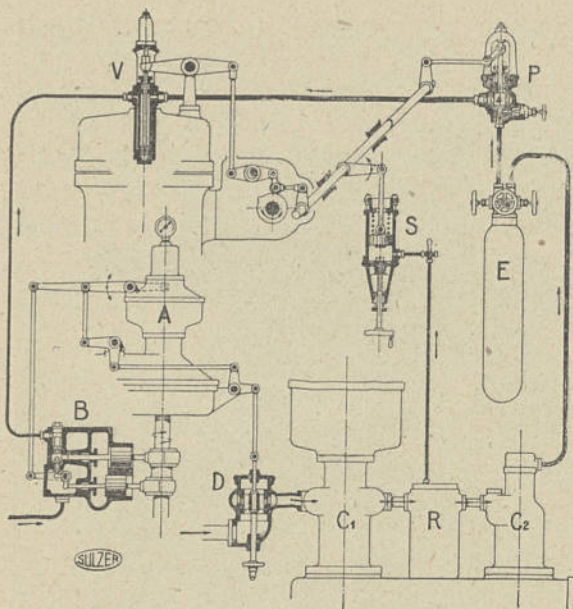


Fig. 269. — Cylindre Sulzer à deux temps.

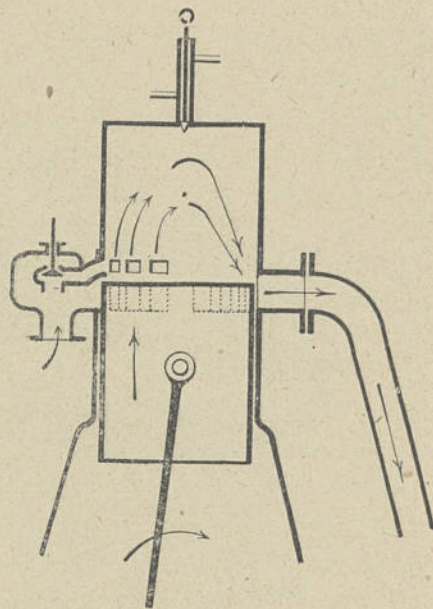


Fig. 270. — Schéma de réglage Sulzer.

J'extraits des prospectus de la maison quelques chiffres relatifs à l'utilisation des calories dans un moteur à quatre temps de 200 chevaux à 3 cylindres.

| RÉGIME DE FONCTIONNEMENT                                   | CHARGE |               |           |
|--|--------|---------------|-----------|
|  | A VIDE | PLEINE charge | SURCHARGE |
| Vitesse en tours par minute.....                           | 186,0  | 188,2         | 185,8     |
| Puissance totale indiquée en chevaux.....                  | 60,8   | 264,0         | 303,5     |
| — effective — .....  | 0      | 199,5         | 235,0     |
| Rendement organique.....                                   | »      | 0,755         | 0,775     |
| Consommation de pétrole par ch.-heure effectif en grammes. | »      | 188,0         | 189,0     |
| Utilisation : en puissance indiquée.....                   | 47,3 % | 44,7 %        | 43,25 %   |
| — effective.....   | »      | 33,6          | 33,5      |
| — frottements et compresseur.....                          | 47,3   | 11,1          | 9,75      |
| — eau de réfrigération.....                                | 39,7   | 27,2          | 28,6      |
| — réfrigération.....                                       |        |               |           |
| } des cylindres moteurs.....                               | 37,9   | 25,85         | 27,2      |
| } du compresseur.....                                      | 1,8    | 1,35          | 1,4       |
| — par les gaz de la décharge.....                          | 14,8   | 29,4          | 29,6      |
| Consommation d'eau par cheval-heure effectif en litres.... | »      | 12,8          | 12,35     |

Un moteur Sulzer à deux temps, d'une puissance normale de 2.300 chevaux,



installé à la Centrale de Lugano, alimenté d'huile de goudron, a donné en essais officiels les résultats ci-dessous :

|  |       |          |
|--|-------|----------|
| Pouvoir inférieur de l'huile.....                  | 8.917 | calories |
| Consommation d'huile par cheval-heure effectif.... | 228   | grammes. |
| Consommation d'eau.....                            | 17,8  | litres.  |

Les moteurs Sulzer sont construits en France par la Compagnie de construction mécanique à Saint-Denis.

#### 4. Diesel-Güldner.

M. Güldner est un vétéran de la construction des moteurs Diesel; il participa aux premiers essais qui furent faits à Augsburg, en qualité d'ingénieur en chef des ateliers. Dès l'année 1903, il mit sur pied une machine horizontale à deux temps, qui fut remarquée. Ce moteur était horizontal; on utilisait la glissière de guidage de la crosse du piston moteur comme piston compresseur; l'air de balayage était comprimé à 6 kilogrammes, dont les  $\frac{9}{10}$  traversaient le cylindre pour déplacer les gaz brûlés. Le reste était repris par une pompe spéciale, qui le surcomprimait à 46 kilogrammes, dans un réservoir alimentant la chasse d'air de l'injecteur de pétrole. Une machine de 20 chevaux consommait 228 gr. de pétrole, à 10.000 calories, par cheval-heure effectif, ce qui n'était alors pas un mauvais résultat. Ce moteur a été construit en Angleterre par la Diesel Engine Co,

Mais M. Güldner a depuis lors cru reconnaître au type horizontal de nombreux désavantages, qu'il expose avec conviction dans les prospectus de ses nouveaux modèles verticaux, à quatre temps, type pour lequel, brûlant ce qu'il avait adoré jusque-là, il professe maintenant une préférence marquée (1).

Ces machines, très bien étudiées et construites, ne présentent de nouveauté que dans le détail. Pour désencombrer la culasse et faciliter le service, M. Güldner a abaissé l'arbre de distribution et il l'a renfermé dans un carter, fixé sur le côté du bâti, à hauteur d'homme, au-dessous de la galerie de service; le conducteur a donc ces organes à portée de la main, et il est dispensé d'escalader aussi fréquemment l'échelle fort raide de la plate-forme. Le cylindre est débarrassé de tous les supports, venus de fonte avec lui, qui tendaient à produire des dilatations inégales. Des dispositions sont prises pour faciliter le démontage des soupapes, sans avoir à enlever la culasse. La réfrigération de ces soupapes a été l'objet d'une attention particulière. Toutes les cames de commandé sont enfermées dans une boîte hermétique pleine d'huile, munie d'une glace à sa partie antérieure. Le compresseur, placé sur le sol, sur le prolongement du socle, est actionné par une manivelle portée par le bout de l'arbre de couche horizontal.

1. Dans son ouvrage, *Das Entwerfen und Berechnen der Verbrennungsmotoren*, édition 1903 M. Güldner ne décrit pas encore son moteur à quatre temps vertical.



Un essai, effectué à Darmstadt, a relevé sur un moteur de 300 chevaux, à deux cylindres, avec volant lourd de 12.000 kilogrammes, une consommation de pétrole à 10.000 calories de 166 grammes par cheval-heure indiqué : l'eau de circulation sortait à une température de 63°8; on fournissait 12 litres par cheval. J'ai été appelé à faire moi-même à Aschaffenburg, en Bavière, des expériences avec des huiles de goudron d'origine française et j'ai obtenu des résultats très satisfaisants.

L'ancienne maison Garnier et Faure-Beaulieu de Paris (Société de constructions mécaniques), a construit ses moteurs Diesel sur le type Guldner.

### 5. Diesel-Société de Winterthur.

La Société suisse de construction de locomotives et de machines avait acquis une brillante maîtrise en machines à vapeur et en moteurs à gaz, et elle devait réussir dans l'établissement si difficile des machines à combustion, du genre Diesel; elle paraît s'être donné comme but, non pas de modifier ce qui avait été fait à Augsburg, mais de le perfectionner dans ses moindres détails et de le construire à la perfection.

Les prospectus de la Société de Winterthur font mention de cinq types de machines à combustion Diesel :

1° Moteurs verticaux à marche lente, quatre temps, à un, deux, trois ou quatre cylindres, d'une puissance de 20 à 1.000 chevaux, tournant à une vitesse de 150 à 260 tours;

2° Moteurs verticaux, à marche rapide, quatre temps, à trois, quatre ou six cylindres, de 120 à 1.200 chevaux, faisant de 215 à 375 tours;

3° Moteurs marins, quatre temps, réversibles, à six ou huit cylindres verticaux;

4° Moteurs horizontaux, à marche lente, quatre temps, à un ou deux cylindres, développant jusqu'à 100 chevaux par cylindre, avec une vitesse de 200 à 240 révolutions;

5° Moteurs à deux temps.

Les figures 271, 272 et 273 permettent de se rendre compte des formes extérieures de ces machines, que le dessinateur a voulu faire élégantes, et « pas trop américaines d'aspect », dit la notice que nous avons sous les yeux.

Les compresseurs sont du modèle classique; les soupapes basse pression sont munies d'un amortisseur; la soupape d'aspiration porte une butée au-dessous de son siège. Leur bâti est indépendant, la commande s'effectue par manivelle calée sur bout d'arbre.

A partir de 700 chevaux, les moteurs sont à crosse et large glissière : le piston est refroidi par une circulation d'eau, ainsi que le siège de la soupape d'échappement. Le cylindre est fermé à la partie inférieure, afin d'empêcher



l'eau et les cambouis de se mêler à l'huile de circulation. Un régulateur spécial arrête la machine, en cas de menace d'emballement.

L'huile de graissage traverse, à sa sortie des paliers, un double filtre, composé de sacs en toile, faciles à nettoyer; des manomètres préviendraient de toute obstruction qui viendrait à se produire.

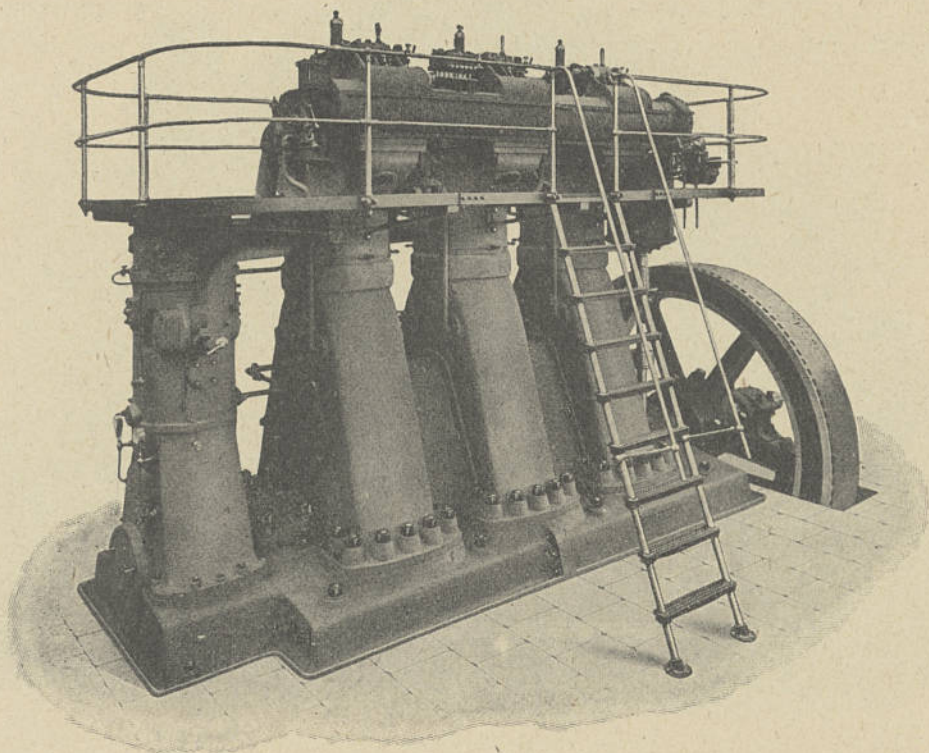


Fig. 271. — Diesel Winterthur.

Lors de la mise en route, la décompression des cylindres se fait simultanément par la manœuvre d'une seule manette.

Dans les moteurs horizontaux, le compresseur est disposé en bout d'arbre, du côté opposé au volant; il est vertical à deux phases. La culasse de ces machines rappelle celle des moteurs à gaz; l'aiguille d'injection et la soupape de démarrage sont disposés horizontalement.

Pour les moteurs verticaux à marche rapide, généralement à quatre cylindres, les manivelles se trouvent dans le même plan. Le carter est consolidé par de forts tirants. L'arbre des cames et ses paliers est renfermé dans un bain d'huile. Le piston est refroidi dès 100 chevaux par cylindre.

Les moteurs marins sont à quatre ou bien à deux temps : ce dernier genre est le plus communément adopté.

Les soupapes d'insufflation et de mise en marche sont combinées en un seul organe, de sorte que la culasse ne porte qu'une soupape. Dans un



modèle récent, les cylindres sont montés directement sur des colonnes d'acier, qu'il est inutile de relier entre elles; un revêtement latéral en aluminium forme carter, il peut être enlevé aisément.

Deux pompes à eau, actionnées par balancier, à partir de la bielle du com-

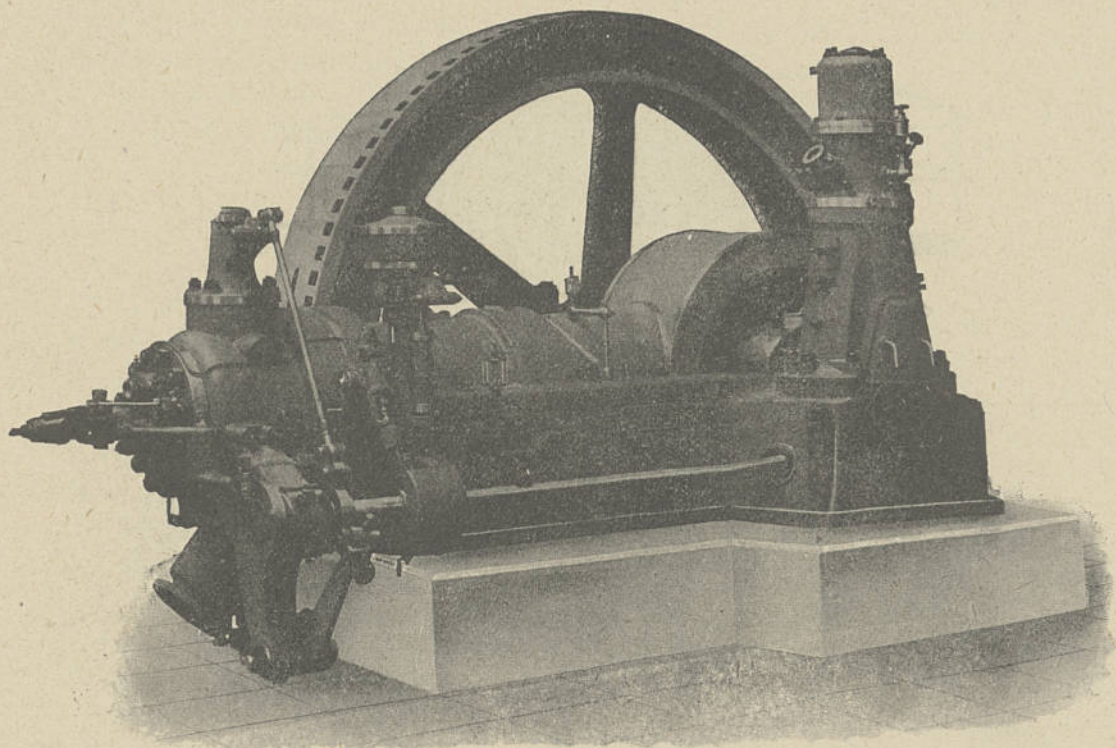


Fig. 272. — Diesel Winterthur horizontal.

presseur, permettent l'une de pourvoir à la circulation du moteur, l'autre de servir de pompe, de cale ou de réserve.

On déplace l'arbre à cames, pour renverser la marche, à l'aide d'une roue à main; les leviers porte-galets se relèvent automatiquement. Deux leviers à main, disposés symétriquement, sont amenés ensuite de la position marquée « arrêt » à celle de « mise en marche ». Les valves de mise en route entrent alors en fonctionnement et leur communication avec les réservoirs à air comprimé s'établit en même temps. Cela fait, un des leviers à main est amené dans la position « en service » : trois cylindres sur six reçoivent du pétrole, les autres continuant à utiliser l'air comprimé, jusqu'au moment où le second levier sera lui-même amené à la position de service. La manœuvre de la roue et des leviers ne peut se faire que dans l'ordre prescrit, grâce à un verrou de sûreté.

Un régulateur entre en fonction dès que la vitesse angulaire dépasse un certain maximum, en supprimant l'arrivée de l'huile.



La concurrence que font aujourd'hui aux moteurs Diesel ceux qu'on appelle les semi-Diesel, plus simples de construction, partant moins coûteux, de conduite et d'entretien moins délicat, mais d'un rendement inférieur, a conduit la Société de Winterthur à établir un type mixte, participant des avantages des deux autres : après de longues et laborieuses études, on a abouti à des résultats très satisfaisants avec le moteur qui est représenté par la figure 274.

C'est une machine horizontale, dont les caractéristiques sont les suivantes :

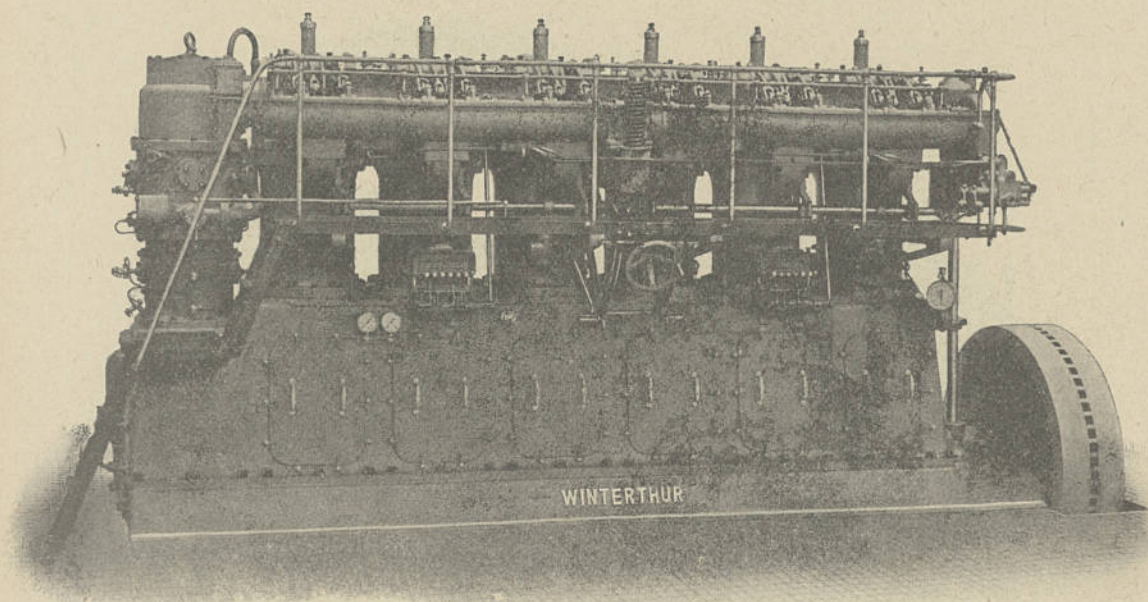


Fig. 273. — Diesel Winterthur marin.

fonctionnement à quatre temps, suivant le schéma Diesel, à combustion, avec injection dans un air suffisamment comprimé pour que le carburant y brûle au fur et à mesure de son introduction dans le cylindre. Mais la compression de l'air est réduite à ce qui est strictement nécessaire; l'injection s'opère sans chasse d'air, et l'inflammation a lieu sans qu'il soit besoin de chauffer la culasse par le dehors. En d'autres termes, c'est un Diesel sans compresseur, ni batterie de réservoirs d'air; c'est un semi-Diesel sans calotte incandescente, ni mise de feu par lampe ou allumage électrique. Cette création mérite d'arrêter notre attention.

La compression produite dans le cylindre moteur par le piston est limitée à 25 kilogrammes par centimètre carré; elle est donc un peu supérieure à la tension absolument requise pour provoquer une combustion spontanée du carburant que l'on y injecte. L'élévation de température résultant des réactions chimiques porte cette pression à 35 kilogrammes environ. Le pétrole est introduit par la pression développée par sa pompe à travers une tuyère percée de



trous capillaires, qui produit la pulvérisation; cette pression varie de 200 à 300 kilogrammes, suivant la charge; le liquide est amené au cylindre par un petit tuyau d'acier extrêmement résistant. On pourrait craindre des obstructions d'orifices ou des ruptures, mais la pratique a démontré qu'on ne court aucun risque à cet égard. D'ailleurs, la pression uniquement hydraulique du liquide ne peut donner lieu à aucune explosion dangereuse. On voit par suite qu'il n'y a plus, dans cette machine, d'aiguille de pulvérisation et qu'on a

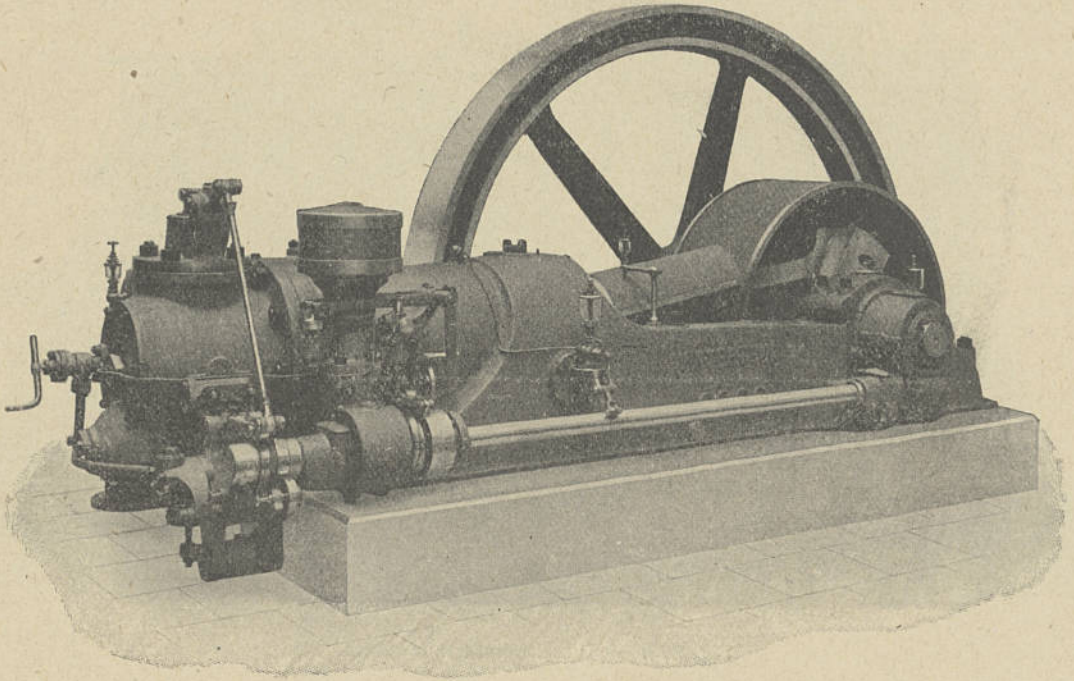


Fig. 274. — Diesel Winterthur sans compresseur.

supprimé les réservoirs d'air comprimé pour la chasse du carburant; on n'y trouve plus que le réservoir de mise en route, qu'exigent les moteurs ordinaires à gaz.

Qu'en est-il de la consommation? L'expérience a prouvé que ce nouveau moteur s'adapte bien à l'emploi de toutes les huiles lourdes, mazouts, naphtes, huiles de goudron, huiles végétales de palme et d'arachide et autres. On estime que la dépense est supérieure de 12 % à celle d'un Diesel proprement dit; c'est ce dont témoignent les essais effectués à Winterthur, le 23 août 1921, en employant un naphte à 10.000 calories; j'en reproduis quelques chiffres dans le tableau ci-après. Ils doivent être signalés.

La Société de Winterthur a aussi établi un type de semi-Diesel à calotte incandescente, avec pompe spéciale de balayage, placée horizontalement au pied du cylindre moteur; on évite ainsi l'emmagasinement dans le carter, qui présente des inconvénients. La pompe à pétrole est placée sous la dépendance



du régulateur, qui ne fait pas seulement varier la quantité injectée mais encore le moment de l'injection. Il n'y a pas d'injection d'eau dans la culasse. On construit ce modèle jusqu'à une puissance de 60 chevaux par quatre cylindres.

| MOTEUR HORIZONTAL DE 50 CHEVAUX               |                   |   |
|---|-------------------|---|
| Alésage : 350 millimètres. Course : 0 m. 600. |                   |   |
| PUISSANCE                                     | VITESSE           | CONSOMMATION<br>par cheval-heure effectif |
| 20 chevaux.                                   | 226 tours-minute. | 226 grammes.                              |
| 30 —  | 225 —             | 203 —                                     |
| 40 —  | 223 —             | 191 —                                     |
| 50 —  | 221 —             | 187 —                                     |
| 60 —  | 216 —             | 186 —                                     |

### 6. Diesel-Polar.

Cette machine est construite dans les ateliers de l'Aktiebolaget Diesels Motorer de Stockholm.

Montée sur un bâti très massif, dont les montants se prolongent jusqu'à a partie supérieure du cylindre, elle présente un caractère particulier de solidité et de robustesse, mais son aspect est quelque peu disgracieux : il est vrai que l'esthétique des formes est dans l'espèce un élément assez négligeable.

L'enveloppe de réfrigération du cylindre communique par de larges ouvertures avec celle de la culasse.

Le pulvérisateur est du type breveté Hesselmann. Une pièce spéciale y remplace les collerettes perforées; elle enveloppe l'aiguille *b* (fig. 275) et forme autour d'elle, à sa partie inférieure, une poche dans laquelle se prépare un brouillard d'huile carburante. Cette huile est amenée dans le canal *a*, par l'action de la pompe; elle s'accumule dans l'espace *c*, et y prend un niveau déterminé, tant que l'aiguille appuie sur son siège conique. Dès que celle-ci se soulève, la chasse d'air, venue suivant la flèche *d*, aspire l'huile par les canaux obliques, commence à la pulvériser, et la projette dans le cylindre moteur par les orifices *e* de l'ajutage inférieur. Mais il est à remarquer que l'huile cesse d'affluer par les canaux obliques, aussitôt que le niveau a suffisamment baissé dans l'espace annulaire, pour que la dépression produite par l'éjecteur cesse de l'entraîner. Or, cette dénivellation dépend du débit de la pompe à huile, qui règle dès lors

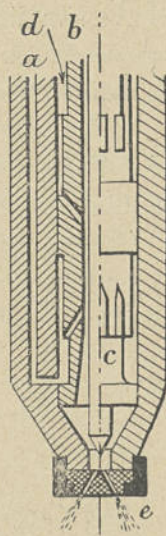


Fig. 275.  
Pulvérisateur Hesselmann.



uniquement l'alimentation, sans qu'on ait à modifier d'aucune façon la pression de l'air d'insufflation, lors des variations de charge. On a parlé élogieusement de cet appareil, qui ne paraît toutefois point présenter l'élasticité du pulvérisateur généralement en usage.

### 7. Diesel-Tosi.

La firme Franco Tosi, de Legnano, aujourd'hui transformée en Société Anonyme, a créé un type de moteur Diesel d'une grande élégance de formes; on y relève de nombreuses modifications très étudiées, que nous ne pouvons décrire par le détail (1); nous en signalerons toutefois quelques-unes.

Le refroidissement du fond de piston, par conduite d'eau forcée, s'effectue plus énergiquement dans sa partie centrale; l'eau suit un parcours en spirale allant du centre à la périphérie. Il est fait de même pour la culasse: l'eau est admise vers le centre et elle parcourt l'intérieur en lames minces. La justification de cette manière d'opérer repose sur l'observation que les fissures se produisent le plus souvent dans l'axe des culasses, par suite des différences de tension qui sont déterminées dans le métal.

Le moteur Tosi ne présente souvent qu'une seule soupape, faisant alternativement office d'aspiration et de décharge: la construction de la culasse s'en trouve simplifiée. Cette soupape est fortement réfrigérée: l'eau circule d'abord dans la lanterne, puis elle gagne la tige et le champignon par un tube flexible en spirale.

Le pulvérisateur est attaqué par un levier actionnant lui-même un balancier, dont l'axe d'oscillation est porté par le support de la soupape d'admission: on n'est point gêné pour soulever la culasse, car il suffit de défaire un tourillon.

Le compresseur, commandé par le bout de l'arbre de couche, est placé en dessous de lui, et logé dans une fosse de la fondation: il en résulte une facilité pour retirer le piston différentiel, dont le grand diamètre est ainsi à la partie supérieure.

### 8. Diesel-Werkspoor.

Cette machine est construite en Hollande, par la *Neederlandsche Fabrik van Wertuigen en Spoorweg Materiel*, à Amsterdam, et par M. Dujardin et C<sup>ie</sup>, à Lille.

Elle se signale à l'attention par une série de détails, qui lui assurent un fonctionnement précis et durable.

Le piston moteur des machines de moindre importance est refroidi par un

1. Voir PÖHLMANN, *ouv. cit.*, pages 55 et 78.



courant d'air, produit par un ventilateur centrifuge, et lancé contre le fond par des tubes télescopiques.

Le constructeur s'est préoccupé de faciliter la sortie et la visite du piston. Le plus généralement, on est obligé, dans les machines verticales, de tirer le piston par le haut, à l'aide d'un palan, après avoir ouvert la tête de bielle : c'est une opération pénible. Les ingénieurs hollandais se sont donné le moyen de retirer le piston par le côté. A cet effet, ils construisent le cylindre en deux pièces, la pièce inférieure étant assemblée par un joint avec la pièce supérieure qui est seule munie d'une enveloppe à circulation d'eau. Pour sortir le piston, on amène la manivelle à son point mort, en bas, on défait les boulons et l'on fait basculer en dehors le piston, avec la partie de cylindre dans laquelle il est engagé. Ce système est simple, mais la construction du cylindre et de son joint, à sa partie médiane, demande une attention particulière (1).

La maison Dujardin a équipé en Diesel les cargos *Tosca* de 9.700 tonneaux et *Sevilla* de 3.400 tonneaux.

### 9. Diesel Blackstone.

Le moteur Blackstone (2) appartient à une classe spéciale de moteurs Diesel. Le carbure est injecté dans le cylindre par un courant d'air comprimé et il débouche dans une atmosphère d'air comprimé par le retour du piston, mais à une pression insuffisante pour produire l'allumage spontané. La mise de feu est obtenue en refoulant une partie du pétrole à travers un ajutage maintenu au rouge par la chaleur dégagée dans le moteur : le jet de flamme ainsi obtenu enflamme progressivement le reste du pétrole au fur et à mesure de son entrée dans le cylindre. On rapporte que cette machine donne d'excellents résultats en service industriel. Un cylindre de 270 millimètres d'alésage et 0 m. 460 de course a permis de développer 35 chevaux effectifs par 240 révolutions à la minute.

Signalons ici, en passant, bien que le moment ne soit pas encore venu de parler de ces machines, un type Blackstone semi-Diesel pourvu de deux injecteurs, dont l'un projette le pétrole dans la boule d'allumage, et l'autre directement dans le cylindre. Cette dernière portion est allumée par le dard de chalumeau sortant de la boule, qui pénètre dans le cylindre par un trou oblique, dirigé vers l'injecteur du cylindre.

1. M. Supino consacre trois figures de son excellent manuel (fig. 111, 113 et 114) à la représentation de la manœuvre qui vient d'être décrite; elle n'a d'intérêt que pour les pistons sans crosse, attendu que dans les machines à crosse on peut sortir le piston par le côté, sans trop de difficultés.

2. *Le Génie civil* (d'après *Engineering*), 21 août 1909.



## 10. Diesel-Sabathé.

Le combustible liquide est, comme dans le moteur précédent, divisé en deux parties : la première est injectée dans le cylindre avant le point mort supérieur, et sa combustion spontanée, effectuée au contact de l'air préalablement comprimé à 35 kilogrammes, sous volume constant, élève la température de cet air et augmente sa pression, jusqu'à 40 ou 45 kilogrammes environ. C'est alors que le reste du combustible est admis dans le cylindre, où il brûle sous pression constante. Cette injection en deux temps a pour avantage d'assurer une combustion plus complète et d'améliorer encore le rendement, puisque la compression est plus forte. L'inventeur a d'ailleurs trouvé dans cette manière de faire un nouveau moyen de réglage; car, aux faibles charges, la deuxième injection est supprimée totalement ou bien en partie. Ce résultat est obtenu par une disposition spéciale de l'aiguille de giclage, qui sert à l'injection du pétrole; une soupape coulisse sur sa tige et opère la séparation en deux portions du liquide introduit dans le cylindre. La levée de l'aiguille est de plus variable.

La disposition générale est celle des moteurs Diesel verticaux : le bâti repose sur un socle, qui supporte le palier de l'arbre moteur; sa partie supérieure constitue l'enveloppe des cylindres, qui sont assujettis sur un épaulement venu de fonte. La partie inférieure du bâti ferme le carter. Une partie amovible, sur le côté, permet de démonter les pistons, bielles, soupapes, etc., par le bas, sans qu'on ait à toucher aux culasses, ni à la distribution.

La distribution est effectuée à l'ordinaire. L'huile d'injection arrive d'abord dans une chambre, placée au-dessous d'une soupape, centrée sur l'aiguille et coulissant sur elle : deux taquets, portés par l'aiguille, soulèvent la soupape. C'est la chambre qui se vide d'abord; puis, sous l'action des taquets, la soupape laisse couler de l'huile chassée par la pression de l'air. La prétention de l'inventeur est d'obtenir une combustion s'effectuant rigoureusement sous pression constante.

Le piston porte à sa partie supérieure un premier cercle, puis un groupe de quatre autres cercles, séparés du premier par une couronne de métal antifric-tion; le bas du piston est encore muni de trois couronnes identiques.

Le cylindre et les boîtes à soupapes sont refroidis par une circulation d'eau; le piston est d'ailleurs arrosé d'eau dans son intérieur par un jet fourni par une pompe montée à cet effet sur l'arbre.

Deux compresseurs d'air sont adjoints au moteur; l'un est monté en bout sur l'arbre moteur, l'autre est actionné par un moteur indépendant, de manière à assurer la mise en route.

M. Lumet <sup>(1)</sup> a décrit un moteur de 700 chevaux à quatre cylindres de

1. LUMET, *la Technique moderne*, février 1909, et *Bulletin de la Commission technique de l'A. C. F.* mars 1910.



485 millimètres d'alésage et 0 m. 480 de course, réglé à 300 tours à la minute, destiné à la marine de guerre; il faisait remarquer que jamais aucun moteur Diesel n'avait encore réalisé une aussi grande puissance par cylindre, ce qui était vrai à l'époque où on le disait.

Un moteur de 40 chevaux (alésage 220, course 0,220, 350 tours) a été exposé au concours des moteurs pour barques de pêche : il a consommé 306 grammes. de mazout par cheval-heure effectif.

### 11. Diesel-Dingler.

Cette machine, du type horizontal, se signale à notre attention par le fait qu'elle ne possède plus d'aiguille d'injection. Cet organe présente des difficultés de fonctionnement qu'on ne peut se dissimuler : il a une tendance à coller sur son siège, à la suite d'une combustion défectueuse ou d'un échauffement anormal; un excès de graissage du compresseur provoque des entraînements d'huile qui produisent le même effet. D'autre part, l'aiguille se fausse quelquefois au démontage, et alors il se produit des fuites au presse-étoupes et d'autres inconvénients sur lesquels il est inutile d'insister. On comprend donc que des inventeurs aient cherché à supprimer cet accessoire délicat.

La disposition adoptée par la maison Dingler est la suivante. L'huile refoulée au premier temps s'accumule dans une chambre de la tuyère entre le pulvérisateur et la soupape d'air d'injection : c'est ce qu'on appelle l'antichambre. Elle est située à quelque distance de la culasse et par suite à l'abri des grandes élévations de température. Quand l'air est injecté, il entraîne le liquide avec lui, à travers un canal étroit, qui le divise en fines gouttelettes. L'huile débouche entre les soupapes d'admission d'air et d'échappement, disposées les unes au-dessus des autres, leurs axes verticaux étant en prolongement l'un de l'autre. Toutes les soupapes sont actionnées par des cames. Derrière la soupape d'injection se trouve une soupape de retenue, empêchant tout retour en arrière. La même tuyère servant à l'insufflation est utilisée pour introduire l'air comprimé de démarrage.

La Revue à laquelle nous empruntons ces détails, que nous voudrions plus complets, ne nous fait pas connaître les résultats qu'a donnés cette innovation (1). Elle fait remarquer que la pompe à combustible travaille à faible pression, attendu que la soupape d'injection isole la conduite d'air comprimé du conduit de refoulement d'huile.

Le compresseur est disposé horizontalement, à côté du cylindre moteur : la pompe d'huile, à axe vertical, est placée sous l'arbre de distribution; sa came est sous la dépendance du régulateur.

1. *La Technique moderne*, tome VI, page 396, mai 1913.



## 12. Diesel Trinkler (1).

Cette machine est construite par les frères Kœrting sous le nom significatif de *Öel-Einspritz-Motor* ; elle procède du moteur Diesel à quatre temps, en ce que le combustible liquide est injecté sous forme de poussière et brûlé dans le

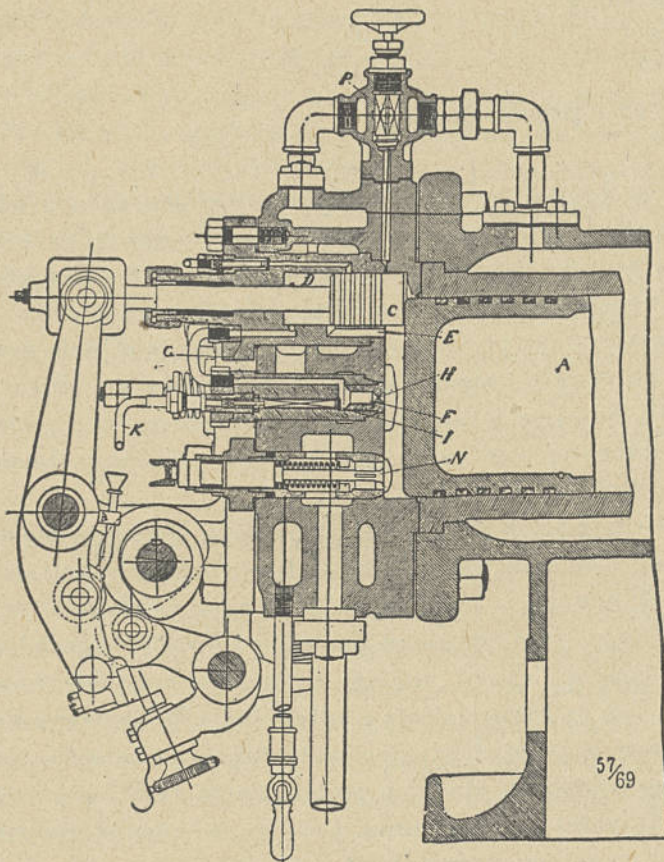


Fig. 276. — Diesel Trinkler.

cyindre moteur sous pression constante, à la façon habituelle; le mode d'injection et de pulvérisation mérite seul une description spéciale, qu'on pourra suivre sur les figures 276 et 277.

Le piston moteur P aspire l'air dans le cylindre durant sa course en avant, et il le comprime à 30 atmosphères dans sa course de retour. Le combustible liquide arrive au cylindre par un tube, qui débouche en dessous de la soupape d'injection *b*. L'organe de pulvérisation est constitué par le piston auxiliaire *p*, présentant une surface plus grande du côté du cylindre que vers C : par suite de cette différence de sur-

face, ce piston différentiel tend à reculer. Or, la chambre *c* reçoit de l'air comprimé par le canal *a* ; mais cette voie d'accès de l'air sera obturée aussitôt que le piston *p* aura rétrogradé légèrement. Le grand levier, placé derrière la culasse, empêchera ce mouvement jusqu'à ce qu'un déclie, commandé par une came, lui rende sa liberté. A ce moment, le piston *p* comprime brusquement l'air confiné en *c* et celui-ci est refoulé vivement par *mnr* vers la soupape *b*. La petite section de cet ajutage, la haute pression acquise préalablement par l'air et la rapidité du recul de *p* déterminent une chasse énergique qui assure une pulvérisation parfaite du pétrole.

1. *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1<sup>er</sup> juin 1907.



La combustion est instantanée, ainsi qu'en témoignent les diagrammes relevés sur le moteur, et elle se produit presque sous volume constant. D'après M. le professeur E. Meyer, la consommation d'un moteur de 12 chevaux, en pétrole brut du Caucase, n'est que de 221 grammes par cheval-heure effectif; le pouvoir de cette huile étant de 9.638 calories, la dépense en calories ressort à 2.130 calories, correspondante à un rendement thermique de 29,8 %. La pression moyenne au diagramme est de 8 kg. 5 et la pression explosive dépasse 38 kilogrammes. A demi-charge, la consommation n'est encore que de 238 gr. Ces résultats sont fort intéressants.

La mise en route s'effectue à l'air comprimé, fourni par un réservoir spécial; il est introduit par le clapet N, visible sur la figure 276. Mais, pour les petits moteurs, on emploie de l'acide carbonique comprimé.

Le cylindre et la culasse sont refroidis par une circulation d'eau.

Un régulateur, du système Hartung, agit sur la pompe à pétrole, dont il limite la course selon le besoin.

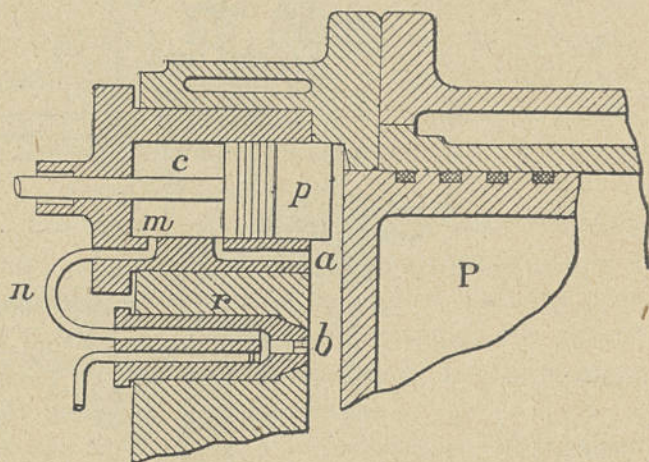


Fig. 277. — Injecteur Trinkler.

L'encombrement et le poids de cette machine sont beaucoup moindres, à puissance égale, que ceux du moteur Diesel ordinaire à deux cylindres et marche lente : elle pèse, tout compris, avec un volant assurant un coefficient d'irrégularité au  $\frac{1}{40}$ , 10.150 kilogrammes, au lieu de 66.000 kilogrammes, qui est le poids du moteur ordinaire.

Cette machine donne d'excellents résultats : sa vitesse ayant varié de 250 à 500 tours par minute, M. Eberle a trouvé que la consommation en huile de Galicie passait de 188 à 210 grammes par cheval-heure effectif : à tous régimes, la combustion s'est effectuée dans de bonnes conditions. Le rendement organique est resté voisin de 80 % : il tombait à 70 à demi-charge. Ces résultats démontrent que les grandes vitesses sont compatibles, dans les moteurs à combustion, avec un fonctionnement remarquable à tous égards.

### 13. Diesel Lietzenmayer.

Ce moteur, connu en Autriche sous le nom de *Gleichdruckmotor Lietzenmayer*, sort des ateliers Ringhoffer, à Schmichow, près de Prague : on retrouve dans



cette machine les principes directeurs de la conception du Diesel et les éléments essentiels de cette création, avec quelques perfectionnements qui méritent d'arrêter l'attention.

Le procédé d'injection du pétrole a d'abord été perfectionné, dans le but d'éviter toute obstruction par les impuretés, qui peuvent engorger des orifices étroits : on a essayé d'écarter ainsi une assez sérieuse objection faite au dispo-

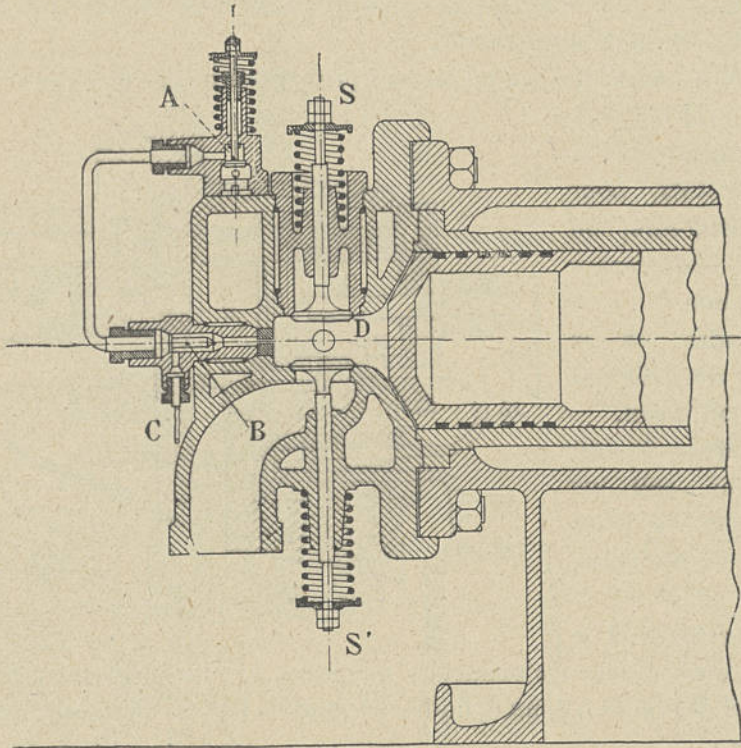


Fig. 278. — Diesel Lietzenmayer.

sitif adopté par Diesel. Dans le moteur Lietzenmayer, le pétrole amené par le canal C (fig. 278) est déversé dans une chambre auxiliaire B pendant la période d'aspiration d'air, et il s'y chauffe au contact des gaz brûlés qui l'ont envahi en période de combustion. A un moment déterminé par une commande mécanique, la soupape A livre passage à une chasse d'air pur, provenant d'un réservoir chargé à 30 kilogrammes de pression, qui balaie l'espace B et entraîne violemment le pétrole qui s'y trouve dans la chambre de combustion du cylindre moteur. Grâce à la température acquise par le pétrole, à la suite de son séjour en B, celui-ci est pulvérisé et volatilisé dans des conditions excellentes; de plus, le travail à demander à la pompe à pétrole est considérablement réduit. On fait remarquer aussi que la soupape à air est assez éloignée de la chambre de combustion, pour qu'on n'ait pas d'inquiétude à avoir pour sa conservation.



La disposition horizontale convient parfaitement pour ce moteur : la figure permet de se rendre compte des principaux détails de la construction. La chemise de circulation du cylindre est formée par le bâti; le manchon y est introduit à frottement et soutenu par trois portées cylindriques. La culasse est fondue à part, avec son enveloppe; elle est boulonnée sur la chemise du cylindre. Le siège de la soupape d'échappement en est solidaire; mais celui de la soupape d'admission est rapporté et maintenu en place par des vis et des boulons. La visite de ces deux soupapes est facile et l'on peut y procéder sans avoir à effectuer de démontage important. L'indépendance des divers organes d'alimentation se prête également à un démontage rapide.

Les deux soupapes d'admission et d'évacuation sont commandées par des tiges oscillantes actionnées par des cames, calées sur l'arbre auxiliaire latéral. L'admission d'air comprimé, qui chasse le pétrole dans le cylindre, est déterminée de la même manière par une came disposée au bout de l'arbre et actionnant un levier oscillant, qui soulève la soupape correspondante et met le cylindre en relation avec le réservoir à air comprimé.

Cet air comprimé est fourni par un compresseur mû directement par l'arbre moteur. Pour la mise en marche, on modifie la compression dans la pompe à air en faisant varier l'excentrique qui la commande; on obtient ainsi une pression suffisante pour donner au piston une première impulsion; quand le moteur fonctionne normalement, il suffit de ramener la commande du compresseur en face de l'excentrique qui est utilisé en marche ordinaire.

La pompe à pétrole reçoit son mouvement d'un excentrique directement monté sur l'arbre auxiliaire de commande des soupapes. Cet excentrique offre cette particularité d'être de hauteur variable, cette hauteur étant fixée par un régulateur à force centrifuge inventé par M. le professeur Dörfel; lorsque le moteur tend à accroître sa vitesse, le régulateur agit sur l'excentrique pour diminuer sa hauteur; il en résulte une moindre plongée du piston de la pompe à pétrole, et, par conséquent, une moindre quantité de combustible injectée dans le cylindre, ce qui ramène la vitesse à sa valeur normale. Ce procédé de régulation est fort simple et beaucoup plus sensible que celui qui consiste à faire varier la hauteur de la levée de la soupape d'aspiration de la pompe.

M. Schroter a soumis le moteur Lietzenmayer à d'intéressants essais, qui ont démontré que cette machine peut fournir un bon fonctionnement avec du pétrole de Galicie, qui est un liquide visqueux, de coloration très foncée, et fort impur. D'autre part, la consommation d'huile a été trouvée relativement faible aux charges réduites.

M. Dörfel de Prague a fait des expériences suivies, en janvier 1909, en employant de l'huile brute de Borislav; ces recherches ont fait ressortir un bon rendement organique, qui a pour conséquence de réduire la consommation aux faibles charges.



## 14. Diesel-Junkers.

M. Junkers, professeur au Polytechnikum d'Aix-la-Chapelle, a réalisé les deux temps, en Diesel, par l'emploi de deux pistons opposés dans un même cylindre, conformément au type connu sous le nom de von Oechelhaeuser, à la création duquel il avait contribué et que j'ai décrit ci-dessus (1).

Le piston d'avant est commandé directement par le vilebrequin; celui d'arrière lui est connecté par deux tiges de retour, qui encadrent le cylindre moteur. L'échappement des gaz brûlés s'effectue par une double rangée d'orifices, ménagés dans la paroi, aux deux extrémités de ce cylindre. Les pompes de balayage sont, dans les moteurs à deux cylindres en tandem, disposées des

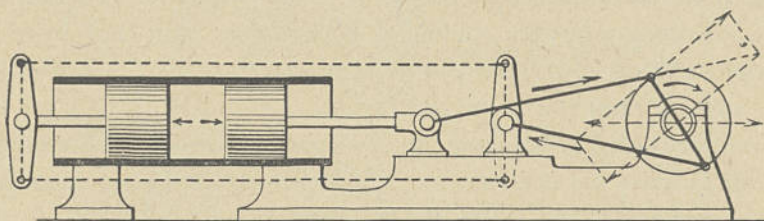


Fig. 279. — Diesel Junkers.

deux côtés de la machine; la pompe à haute tension, à quatre échelons, occupe une position symétrique à l'avant.

Ces bielles de retour, par lesquelles le mouvement des pistons arrière est transmis à l'arbre de couche, compliquent assurément l'aspect de cette construction, mais l'œil s'y habitue rapidement, et il faut reconnaître que cette disposition présente certains avantages (2). La figure 279 montre comment les forces s'équilibrent au moment de l'explosion.

Le tableau suivant met en parallèle les dimensions relatives d'un Diesel ordinaire, à deux temps, et d'un Diesel-Junkers, pour diverses puissances. Le Diesel est à double effet et le Junkers à deux cylindres en tandem. On admet pour les deux machines même pression moyenne égale à 8 kilogrammes; mais la vitesse linéaire de piston est pour la première égale à 4,5 mètres par seconde, alors qu'elle est de 3,5 pour la deuxième; cette différence provient de ce que les rapports des courses au diamètre sont de 2 et de 1,5.

J'ai été appelé à suivre la marche d'un moteur Junkers à deux cylindres en tandem d'une puissance de 1.000 chevaux; les cylindres mesuraient 450 millimètres de diamètre; la double course était de 0 m. 450; la longueur totale de la machine atteignait 8 m. 750; les résultats ont été intéressants.

1. Le lecteur est prié de se reporter à la page 267.

2. M. Junkers a publié de nombreux opuscules pour faire valoir sa machine. Je citerai les suivants : *Leistungs Erhöhung von Verbrennungsmaschinen*; *Studien und experimentelle Arbeiten zur Konstruktion meines Grosseilmotors*; *The Junkers Oil Engine*.



M. Junkers a inventé un dispositif très original permettant de surcomprimer à volonté l'air dans les cylindres moteurs et d'obtenir un accroissement notable de puissance; à cet effet, les pompes à air sont soigneusement refroidies, et un réglage des soupapes permet de remplir le cylindre au début de la phase de compression à une pression supérieure à celle de l'atmosphère. Les diagrammes de la figure 280 correspondent à une augmentation de puissance de près de 50 % : la pression moyenne au diagramme y atteint 15 kilogrammes au centimètre carré.

| PUISSANCE          | MOTEUR JUNKERS |          |                      |
|--------------------|----------------|----------|----------------------|
|                    | DIAMÈTRE       | COURSE   | TOURS<br>à la minute |
| 2.000 chevaux..... | 585 mm.        | 1 m. 700 | 180                  |
| 3.000 — .....      | 700 —          | 1 m. 400 | 150                  |
| 4.000 — .....      | 810 —          | 1 m. 620 | 130                  |

| PUISSANCE          | MOTEUR DIESEL |          |                      |
|--------------------|---------------|----------|----------------------|
|                    | DIAMÈTRE      | COURSE   | TOURS<br>à la minute |
| 2.000 chevaux..... | 730 mm.       | 1 m. 095 | 124                  |
| 3.000 — .....      | 890 —         | 1 m. 335 | 102                  |
| 4.000 — .....      | 1.020 mm.     | 1 m. 530 | 88                   |

Les chiffres ci-dessous ne sont pas moins significatifs :

| PUISSANCE          | MOTEUR JUNKERS |           | MOTEUR DIESEL |           |
|--------------------|----------------|-----------|---------------|-----------|
|                    | ENTRE PALIERS  | POIDS     | ENTRE PALIERS | POIDS     |
| 2.000 chevaux..... | 2 m. 120       | 2.000 kg. | 1 m. 850      | 4.500 kg. |
| 3.000 — .....      | 2 m. 520       | 4.700 —   | 2 m. 270      | 8.100 —   |
| 4.000 — .....      | 2 m. 920       | 6.900 —   | 2 m. 580      | 12.200 —  |

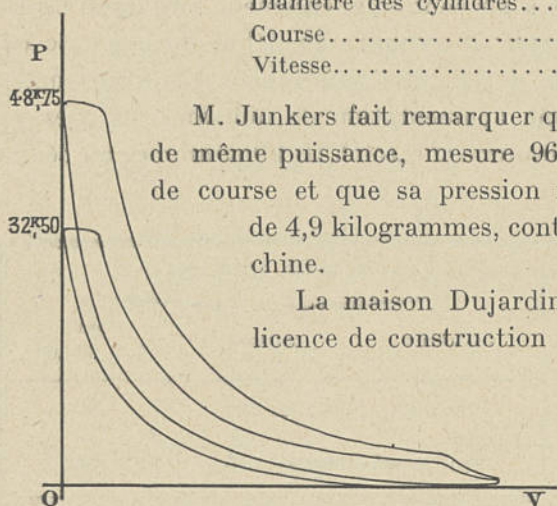
Ces machines se construisent horizontales ou verticales : ces dernières ont évidemment l'avantage de présenter un faible encombrement dans le plan horizontal, mais elles prennent une hauteur exagérée. On peut en juger par les dimensions ci-dessous d'une machine triple, destinée à un cargo de Hambourg, d'une puissance de 1.600 chevaux.

Diamètre des cylindres..... 400 mm.  
 Course des pistons..... 2 × 0 m. 400.  
 Vitesse angulaire..... 120 tours par minute.  
 Hauteur totale..... 7 m. 285.



Voici enfin les dimensions d'une machine sextuple, développant 1.875 chevaux :

|                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| Diamètre des cylindres..... | 890 mm.           |
| Course.....                 | 2 × 0,600         |
| Vitesse.....                | 150 tours-minute. |



M. Junkers fait remarquer qu'un Diesel ordinaire à six cylindres, de même puissance, mesure 960 millimètres d'alésage, 0 m. 800 de course et que sa pression moyenne au diagramme n'est que de 4,9 kilogrammes, contre 7,5 qu'il développe dans sa machine.

La maison Dujardin et C<sup>ie</sup>, de Lille, avait acquis une licence de construction des moteurs Junkers.

### 15. Diesel-Fullagar (1).

Pour éviter les bielles de retour et simplifier la construction, the English Electric C<sup>o</sup> a adopté un dispositif breveté, sous le nom de Fullagar, dans lequel des tiges obliques réunissent en diagonale les pistons de deux cylindres juxtaposés : on a ainsi un vilebrequin à deux coudes pour deux cylindres, alors que le type von Oechelhaeuser en a trois pour un seul cylindre. L'avantage est indiscutable.

Un Fullager à deux cylindres, de 355 mm. d'alésage, 0 m. 406 de course développe 750 chevaux par 250 révolutions à la minute.

Les Constructions Électriques de France ont la représentation de cette machine en France (2).

### 16. Diesel-Renault, type marin (3).

Ce moteur développe 300 chevaux par six cylindres, disposés en ligne, faisant 500 tours par minute.

Sur une plaque de fondation, servant de bâti-carter, sont montés les bâtis-cylindres, qui portent les cylindres par groupes de deux; ceux-ci sont en acier coulé; ils sont assemblés rigidement entre eux. Les culasses portent les soupapes d'aspiration et de décharge, l'aiguille d'injection, la soupape de mise en route, et, de plus, une soupape de sûreté. L'air arrive aux cylindres extrêmes par des tuyaux à rainures; pour les cylindres intermédiaires, il y a des vides entre les

1. *The Engineer*, 28 avril 1922.

2. Les machines Doxford et Camell-Laird sont analogues à celle que nous venons de décrire, et n'en diffèrent que par quelques détails de construction.

3. *Le Génie civil*, 10 septembre 1921.



cylindres. L'eau de réfrigération est servie par deux pompes, mais une seule suffirait à la tâche. L'air est comprimé par un compresseur à trois étages, avec refroidissement entre les phases; chaque étage a sa soupape de sûreté. Les pompes de combustible sont à pistons plongeurs sans presse-étoupes : elles sont sous la dépendance d'un régulateur à maxima. Un robinet pointeau vérificateur d'amorçage, placé contre l'aiguille, permet de vérifier le débit des pompes.

La levée de l'aiguille d'injection est variable : voici l'ingénieux dispositif appliqué à cet office. Un levier, construit à la façon ordinaire, actionné par la came *ad hoc*, reçoit un mouvement constant, qu'il transmet par l'intermédiaire d'un galet, à un levier plus court, qui attaque directement la tige de l'injecteur. En déplaçant ce galet entre deux mâchoires présentées par les deux leviers, on obtient pour l'aiguille des soulèvements variables suivant la position de ce galet, déterminée par un arbre spécial. Les levées variables des six pulvérisateurs sont réglées du même coup à partir du poste de manœuvre.

Le lancement s'effectue à l'air comprimé, en agissant d'abord sur tous les cylindres, puis en interrompant l'arrivée de l'air dans trois cylindres, qui fonctionnent aussitôt au pétrole; la vitesse normale obtenue, on donne l'huile partout.

Le changement de marche s'obtient en se servant du levier de lancement, pour faire stopper la machine; aussitôt, le mécanicien actionne le volant d'inversion de rotation, qui déplace les cames; puis il pousse de nouveau le levier de lancement pour démarrer dans le sens correspondant à la nouvelle position des cames. Les moteurs tournant à 500 tours, il suffit de six secondes pour renverser le sens de marche.

Le graissage des cylindres est assuré par une pompe à engrenages alimentant un appareil central à débit variable et visible, qui distribue l'huile; quant aux mouvements, ils sont lubrifiés sous pression par une dérivation prise sur le collecteur.

### 17. Diesel-Germania-Krupp, type sous-marin (1).

Ce moteur, à deux temps, a été monté sur le sous-marin de 2.400 tonneaux, U-139, qui fit, sur la fin de la guerre, une longue croisière sur les côtes d'Amérique : il se composait de six cylindres, montés sur un même bâti avec les compresseurs, les pompes de balayage et autres; il était pourvu d'ailleurs d'appareils auxiliaires électriques, servant aux manipulations du pétrole, des huiles de graissage, de l'eau de mer de réfrigération et de l'eau douce employée pour le refroidissement des pistons moteurs.

Les cylindres sont en bronze entourés d'une chemise d'acier, que l'eau

1. *Technique moderne*, avril et juin 1919.



traverse en entrant par le bas, pour se rendre ensuite dans la culasse, munie d'un thermomètre de contrôle de température. Le cylindre porte en son milieu, à mi-hauteur des orifices de décharge, une coupure de 2 millimètres, permettant une dilatation des deux parties.

Le vilebrequin est en deux parties, l'une comprenant les six coulés moteurs, l'autre trois coulés des pompes de compression et de balayage.

Les pistons moteurs de grande longueur sont en fonte, mais ils portent une tête en acier, refroidie à l'eau douce, prise dans une cloche latérale par un tuyau en forme de trombone; cette tête présente un creux très profond pour éviter les coups de chalumeau, et les érosions qui en sont la conséquence.

Les culasses en bronze servent de siège à trois soupapes, une de balayage, une de lancement et une de sûreté et, de plus, à la tuyère de pulvérisation; celle-ci est inclinée sur l'axe à 45°. Toutes les soupapes sont fortement réfrigérées. Le dispositif d'injection est du type classique, mais il présente diverses particularités, dignes d'être notées. Il n'y a qu'une seule plaque de pulvérisation, percées de 12 trous de 1 millimètre de diamètre, correspondants à un même nombre de rainures étroites, pratiquées dans le cône. La levée du pointeau conique est de 2,5 millimètres : la durée de l'injection est relativement brève, comprise entre 9° avant et 30° après le passage au point mort, pour éviter un refroidissement exagéré résultant de la détente de l'air d'injection. Le compresseur à trois étages aspire l'air dans le refoulement de la pompe de balayage et il alimente les bouteilles d'air d'insufflation et de lancement : au premier étage, l'admission se fait par des lumières rectangulaires et il n'y a donc que des clapets de refoulement. Le compresseur est disposé verticalement au bout de la ligne de cylindres, à côté de la pompe de balayage.

Les caractéristiques de ce moteur sont les suivantes :

|                 |                |
|-----------------|----------------|
| Alésage.....    | 450 mm.        |
| Course.....     | 0,500          |
| Vitesse.....    | 380 tours.     |
| Puissance ..... | 1.600 chevaux. |

## 18. Diesel Brons.

Cette machine avait été exposée dans la section hollandaise de l'Exposition de Bruxelles de 1910, et elle avait attiré l'attention des ingénieurs par les intéressantes nouveautés qu'elle présentait, dont la valeur avait du reste été démontrée par plusieurs années de pratique aux colonies.

Le combustible liquide est aspiré au premier temps dans une chambre auxiliaire, ménagée à la partie supérieure du cylindre, et il y arrive en traversant un distributeur spécial commandé par le moteur, sous le contrôle du régulateur; cette chambre communique directement avec le cylindre par de petits



trous percés à quelques millimètres du fond. Lorsque au deuxième temps la compression de l'air développe une température croissante, ce liquide se vaporise, puis il prend feu, en produisant une petite explosion, qui a pour effet de projeter un dard de carbure enflammé dans l'air qui achève d'être comprimé. Cette combustion porte sa pression à 40 kilogrammes. On réussit donc à réaliser une combustion automatique, sous haute pression, sans qu'il soit besoin de recourir à une pompe d'injection du pétrole, ni à un compresseur d'air distinct du cylindre moteur. On réalise par suite les avantages du Diesel par un procédé d'une remarquable simplicité.

L'aspiration de l'air est réglée dans un appareil cylindrique, dont la paroi est formée par les spires d'un ressort de section carrée, que l'on comprime à volonté, de manière à donner à l'air un passage déterminé.

Des essais faits à l'École polytechnique de Delft ont démontré qu'un moteur de 12 chevaux, de 200 millimètres d'alésage, 0 m. 250 de course, faisant 300 tours, ne consomme par cheval-heure que 220 grammes de mazout : ce résultat est intéressant. Le moteur se règle d'ailleurs parfaitement.

### 19. Diesel Hindl.

La réalisation correcte du cycle Diesel était difficile dans les cylindres de faible diamètre, pour lesquels le rapport de la surface interne de la chambre de compression à son volume prend une valeur plus considérable : l'action de paroi y produit dès lors un refroidissement de l'air, dont la température n'est plus suffisante pour provoquer l'auto-inflammation du combustible pulvérisé et entretenir une parfaite combustion. De cette considération est née l'idée qu'il ne pouvait y avoir avantage à construire des Diesel de puissance inférieure à une vingtaine de chevaux. M. Hindl s'est proposé de démontrer que ce n'était qu'un préjugé, et il a entrepris d'établir des moteurs de 4 et de 7 chevaux par cylindre : il y a réussi.

Le compresseur d'air qu'il emploie est à un seul étage, et il fait partie intégrante de la culasse : l'air comprimé est transvasé directement de la pompe au cylindre, en subissant une faible chute de pression et surtout le minimum d'abaissement de température; c'est ce qui importe le plus. L'injection est effectuée sur la fin de la compression. Le diagramme de la figure 283 montre qu'à ce moment il se produit une subite élévation de pression, d'environ 5 kilogs, témoignant d'une combustion momentanée à volume constant. Ce diagramme est la caractéristique du Diesel Hindl.

Cette machine est intéressante à deux égards : la simplicité de sa construction et son bon rendement.

L'absence de réservoir d'air comprimé est à remarquer d'abord; d'autre part, la construction est très compacte.



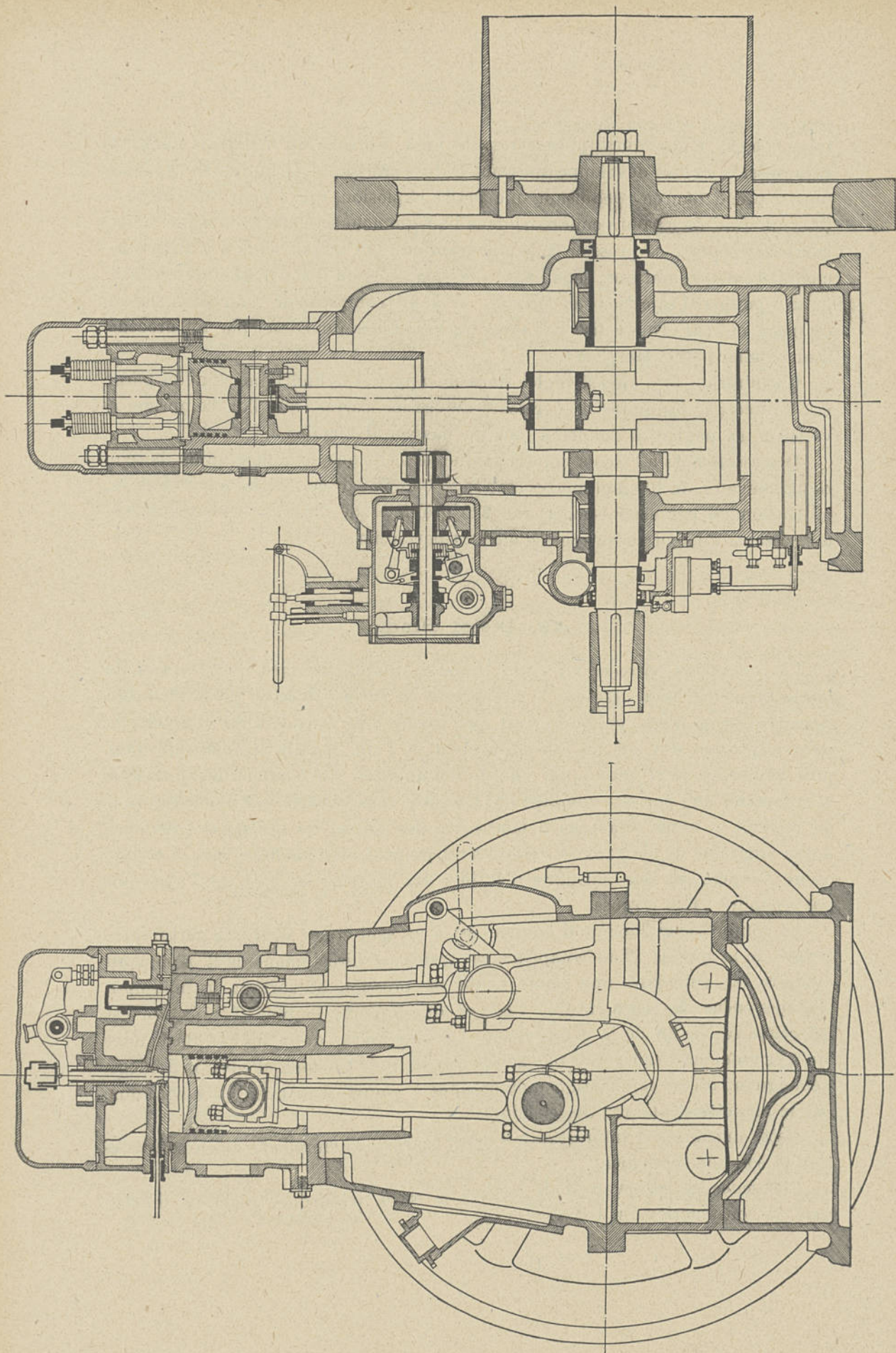


Fig. 281, 282. — Coupes du moteur Hindl.



Pour ce qui est du rendement, on peut en juger par les chiffres ci-dessous, correspondants à une série d'essais faits par M. Lumet. Le combustible employé était du Gas-oil de Pechelbronn, de densité 0,86.

|                                     | MOTEUR HORIZONTAL              |         |         |         | MOTEUR VERTICAL |         |         |         |
|-------------------------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|-----------------|---------|---------|---------|
|                                     | Vitesse en tours : minute..... | 401     | 405     | 397     | 410             | 463     | 457     | 452     |
| Puissance effective en chevaux..... | 2,24                           | 2,85    | 3,88    | 4,58    | 3,87            | 5,10    | 6,31    | 7,05    |
| Consommation par cheval-heure.....  | 327 gr.                        | 295 gr. | 244 gr. | 236 gr. | 308 gr.         | 268 gr. | 225 gr. | 220 gr. |

Le moteur est construit par la Société des moteurs Hindl, qui a établi deux types horizontal et vertical, de 4 et 7 chevaux par cylindre; on les assemble par deux ou par quatre.

Les figures 281 et 282 permettent de se rendre compte des détails de construction de la machine de 7 chevaux. On la met en route à la force des bras, ce qui ne présente pas de difficulté pour des moteurs d'aussi faible puissance.

Ces dernières machines peuvent encore être considérées comme appartenant au type Diesel, mais elles constituent une transition entre celui-ci et cet autre, que l'on désigne par l'appellation de semi-Diesel, et n'est point sans valeur, nous l'avons déjà dit, attendu qu'il allie à une grande simplification des formes un rendement avantageux, joint à une remarquable sécurité de fonctionnement.

Nous allons décrire quelques-uns de ces intéressants moteurs : nous voudrions en signaler un plus grand nombre, mais ne pouvons à notre grand regret multiplier ces intéressantes monographies.

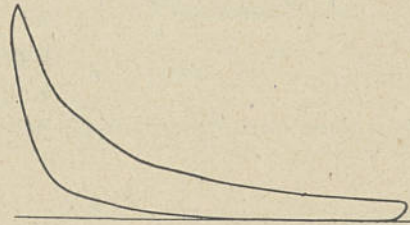


Fig. 283. — Diagramme Hindl.

## 20. Semi-Diesel Crossley (1).

Dans ce moteur, du type horizontal, les soupapes d'admission et d'échappement sont placées verticalement l'une au-dessus de l'autre, et le pulvérisateur est disposé horizontalement entre deux; le vaporisateur est en face de celui-ci. Le jet de carburant vient s'écraser contre cette paroi chaude. La pompe à huile est actionnée par came et levier.

La régulation s'effectue au moyen d'un dispositif nouveau, faisant varier l'instant auquel s'ouvre une soupape qui renvoie l'excès d'huile au conduit d'aspiration de la pompe. Cette soupape est ouverte par le bec du levier de cette pompe, appuyant sur l'extrémité de sa tige; le bec est élevé ou abaissé

(1) MM. Crossley donnent à cette machine le nom de « moteur à huile lourde sans injection d'air, démarreur à froid ». C'est un peu long, mais exprime bien les caractéristiques de la machine.



par le régulateur et la durée d'ouverture de la soupape de réglage dépend de la position du bec. On voit donc que la pompe, à course constante, commence

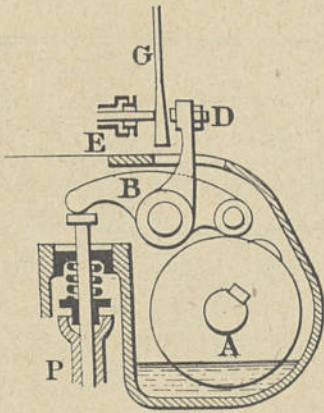


Fig. 284.  
Pompe à huile Crossley.

toujours à refouler le carburant au même instant et avec la même vitesse : il en résulte un fonctionnement satisfaisant à toutes charges. Le mécanisme est simple (fig. 284) ; la came A commande le levier B, dont l'extrémité presse sur le piston plongeur de la pompe P : le bec D agit sur E par l'intermédiaire du coin G, suspendu au régulateur. La came est renfermée dans un carter plein d'huile.

On met en route par l'air comprimé. L'air est comprimé par le moteur lui-même ; une fraction de l'air subissant la compression au second temps est admise dans un réservoir par une soupape spéciale placée en haut du cylindre ; il va sans dire que l'injection de pétrole a été préalablement suspendue.

### 21. Semi-Diesel Chaléassière.

Cette machine, à deux temps, d'un type simple et bien étudié, se construit à un, deux, trois ou quatre cylindres : avec un alésage de 240 millimètres, une course de 0 m. 360, on développe par cylindre 25 chevaux, à la vitesse de régime de 320 révolutions à la minute. Un moteur à un cylindre pèse 3.900 kilogrammes ; le poids de quatre cylindres de 100 chevaux est de 9.000 kilogrammes. Le type marin est un peu plus léger : il occupe 1 mètre sur 2.800.

### 22. Semi-Diesel Tuxham.

Les ateliers et chantiers de l'Ermitage (Société Delaunay-Belleville), à Saint-Denis, ont entrepris la construction de cette machine, qui a reçu de nombreuses applications dans la marine anglaise.

Le type est vertical, à deux temps, avec compression d'air dans le carter ; le cylindre est désaxé par rapport à la manivelle, de sorte que le piston n'arrive à son point mort supérieur qu'après que la manivelle a dépassé sa position verticale ; l'obliquité de la bielle se trouve réduite pendant la course motrice descendante et le cylindre subit moins d'usure.

La pompe à huile est attachée, par l'intermédiaire d'un galet, par une came cunéiforme, glissant sur un arbre vertical, sous l'action du régulateur.

On n'injecte de l'eau qu'aux allures plus poussées.



### 23. Semi-Diesel Moreau-Petters.

Type vertical à deux temps, à carter clos, avec boule incandescente, reven-  
diquant une grande simplicité de construction n'excluant pas un bon rende-  
ment; un moteur de 35 chevaux a développé 41 chevaux, par 202,4 tours à la  
minute, en consommant 208 grammes de pétrole.

Un silencieux est constitué par une enceinte cylindrique munie d'une sorte  
de crépine.

Le prospectus donne les dimensions caractéristiques d'un certain nombre  
de modèles; ces chiffres ne manquent pas d'intérêt, car ils sont fondés sur une  
grande pratique industrielle.

|                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Puissance en chev.  | 10/12               | 18/20               | 25/28               | 35/40               | 50/55               | 70/80               | 100/110             | 100/110             | 150/160             | 200/220              | 300/320             |
| Nombre de cylindres | 1                   | 1                   | 1                   | 1                   | 1                   | 1                   | 2                   | 4                   | 2                   | 4                    | 4                   |
| Alésage.....        | 184 $\frac{m}{m}$   | 248 $\frac{m}{m}$   | 273 $\frac{m}{m}$   | 305 $\frac{m}{m}$   | 356 $\frac{m}{m}$   | 406 $\frac{m}{m}$   | 355 $\frac{m}{m}$   | 273 $\frac{m}{m}$   | 406 $\frac{m}{m}$   | 356 $\frac{m}{m}$    | 406 $\frac{m}{m}$   |
| Course.....         | 0 <sup>m</sup> ,203 | 0 <sup>m</sup> ,267 | 0 <sup>m</sup> ,292 | 0 <sup>m</sup> ,356 | 0 <sup>m</sup> ,406 | 0 <sup>m</sup> ,457 | 0 <sup>m</sup> ,406 | 0 <sup>m</sup> ,292 | 0 <sup>m</sup> ,457 | 0 <sup>m</sup> ,406  | 0 <sup>m</sup> ,457 |
| Nombre de tours..   | 425                 | 350                 | 300                 | 275                 | 260                 | 250                 | 260                 | 325                 | 250                 | 260                  | 250                 |
| Diam. du volant..   | 1 <sup>m</sup> ,066 | 1 <sup>m</sup> ,371 | 1 <sup>m</sup> ,524 | 1 <sup>m</sup> ,829 | 1 <sup>m</sup> ,981 | 2 <sup>m</sup> ,134 | 1 <sup>m</sup> ,829 | 1 <sup>m</sup> ,520 | 1 <sup>m</sup> ,081 | 1 <sup>m</sup> ,829  | 1 <sup>m</sup> ,981 |
| Poids total.....    | 1.168 <sup>k</sup>  | 2.234 <sup>k</sup>  | 3.300 <sup>k</sup>  | 4.722 <sup>k</sup>  | 6.450 <sup>k</sup>  | 7.109 <sup>k</sup>  | 10.953 <sup>k</sup> | 13.000 <sup>k</sup> | 16.400 <sup>k</sup> | 15.6418 <sup>k</sup> | 26.762 <sup>k</sup> |

Ces machines sont construites à Ipswich (Angleterre) et à Nantes, chez  
MM. Moreau et C<sup>ie</sup>.

Le type marin a été adopté par la Marine française et l'Amirauté britannique.

### 24. Semi-Diesel Selson.

C'est encore un modèle anglais à deux temps.

La compression y est assez faible : pour assurer l'inflammation, on fait  
usage d'une magnéto auxiliaire haute tension, commandée directement par  
l'arbre de couche.

Le pétrole est injecté par une pompe, dont la course variable est mise sous  
la dépendance du régulateur, qui agit sur l'excentrique de commande.

On démarre à l'essence.

« Consommation minime, inconnue jusqu'à ce jour », dit le prospectus :  
que n'indique-t-il donc cette consommation si réduite?

### 25. Semi-Diesel Anglo-Belgian.

Moteur vertical à deux temps, avec boule d'allumage, pompe d'injection  
de pétrole et d'eau, carter étanche.

Aux essais, un moteur de 10 chevaux a consommé 350 grammes de mazout  
(densité 0,93), 335 grammes d'huile de houille (densité 1,07) et 265 grammes  
de pétrole, à 10.500 calories, par cheval-heure effectif.

Constructeur : Anglo-Belgian C<sup>o</sup>, à Gand.



## 26. Semi-Diesel Avance.

Cette machine, à deux temps, comme les précédentes, présente quelques particularités qui ne sont pas dénuées d'intérêt; nous en signalerons quelques-unes.

Un injecteur réglable à pétrole et eau est monté sur la pompe à huile qui refoule donc au pulvérisateur une émulsion du combustible dans l'eau : l'eau est délivrée au compte-gouttes par un robinet pointeau, avec viseur. Des essais ont fait constater que l'adjonction de l'eau peut procurer une économie de 15 % qui pourrait être due à ce qu'on modère ainsi à volonté la température de la boulé d'allumage. Le piston de la pompe est en bronze; il est rodé dans le cylindre et ne porte pas de segments; le presse-étoupes est formé d'une rondelle de cuir. Pour un moteur de 12 chevaux, le diamètre du piston mesure 10 millimètres, avec une course de 5 millimètres.

Le pulvérisateur comprend une pièce métallique percée d'un orifice capillaire, précédé d'un canal de plus forte section, dans lequel est logé un noyau à rayures en spirale, assurant une bonne diffusion. Cette pièce doit être tenue froide.

Le régulateur est du type, employé souvent en moteurs à gaz, dit à inertie; il agit sur la pompe. Il se compose d'un poids articulé, animé d'un mouvement alternatif en avant et en arrière, qu'un ressort appuie sur une glissière munie d'un butoir : ce butoir rencontre l'extrémité du piston plongeur et la pousse plus ou moins longtemps; il la manque aussitôt que le moteur prend un excès de vitesse déterminé. On peut changer cette vitesse en déplaçant le butoir de la glissière, ou encore en tendant plus ou moins le ressort.

On donne une forte avance à l'injection, surtout pour les petites machines; l'injection du pétrole commence donc pendant que le piston regagne sa position supérieure et avant qu'il ait atteint le sommet de sa course.

J'ai été appelé à effectuer des essais sur un moteur Avance à deux cylindres, d'une puissance nominale de 50 chevaux, et j'ai relevé une consommation de 231 grammes d'une huile de densité égale à 0,92 par cheval-heure effectif; la marche de cette machine a été trouvée de tous points satisfaisante.

Les moteurs sont construits à un cylindre jusqu'à 90 chevaux; leurs caractéristiques sont les suivantes :

|                            |          |          |          |
|----------------------------|----------|----------|----------|
| Puissance en chevaux.....  | 50       | 65       | 90       |
| Diamètre du cylindre.....  | 370 mm.  | 400 mm.  | 450 mm.  |
| Course du piston.....      | 0 m. 380 | 0 m. 420 | 0 m. 470 |
| Nombre de tours-minute.... | 275      | 260      | 240      |

Les machines à deux cylindres, qui présentent un degré d'irrégularité égal



à  $\frac{1}{150}$ , quand ils sont munis de deux volants lourds, ont les dimensions ci-dessous.

|                            |          |          |          |          |          |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Puissance en chevaux....   | 20       | 30       | 40       | 50       | 70       |
| Diamètre des cylindres.... | 174 mm.  | 196 mm.  | 226 mm.  | 260 mm.  | 310 mm.  |
| Course des pistons.....    | 0 m. 186 | 0 m. 220 | 0 m. 260 | 0 m. 300 | 0 m. 340 |
| Nombre de tours-minute.    | 550      | 500      | 425      | 370      | 320      |

La maison Swensons Motorfabrik, de Stockholm, qui construit le moteur Avance, déclare dans ses prospectus en avoir placé 25.000 dans le monde entier, ce qui est un nombre à remarquer, étant donnée la valeur de la couronne suédoise, qui ne favorise guère les ventes à l'étranger.

### 27. Semi-Diesel Peugeot.

Je me demande si j'ai le droit de ranger cette remarquable machine dans la catégorie des Semi-Diesel, car les constructeurs s'en défendent, comme si cette qualification entraînait une dépréciation; ils préféreraient sans doute voir attribuer cette création à un genre nouveau, auquel serait réservé le nom de Super-Rochas, inventé par l'ingénieur qui en a publié une description (1). Toutefois, il ne faut pas être prodigue des mots nouveaux; d'autre part, j'ai peine à admettre qu'on puisse voir autre chose qu'une machine à combustion dans un moteur, qui n'introduit du combustible pulvérisé qu'à la fin du temps de compression. Enfin il est d'autres machines, qui auraient le droit de repousser l'appellation de Semi-Diesel, si l'on s'engageait dans cette voie, et cela n'éclairerait guère la technique.

Ce qui précède me diminue en rien l'estime qu'on doit avoir de la machine construite par MM. Peugeot, sur les brevets de M. Tartrais, qui présente un bon nombre de dispositions réellement originales et neuves, sinon dans leur concept, du moins dans leur application.

Ce moteur est vertical, à deux temps, à deux cylindres, disposition qui procure deux impulsions par tour; comme tous les deux temps, il est pourvu d'une pompe de balayage; la paroi du cylindre moteur porte dans sa partie inférieure deux rangées d'orifices pratiqués dans la paroi, par lesquels s'opère la décharge des gaz qui viennent de brûler et l'admission d'air frais nécessaire à l'accomplissement du cycle suivant. Ainsi que cela se fait dans la plupart des moteurs de ce genre, le pétrole est injecté sous pression et pulvérisé dans une culasse chaude par une pompe spéciale. L'huile se vaporise très rapidement et brûle dans l'air préalablement comprimé par le retour du piston vers sa partie supérieure. On reconnaît bien à ces traits les caractères principaux des

1. « Un moteur Super-Rochas; le moteur d'automobiles à huile lourde Peugeot », par H. Petit, dans la *Revue Motor*, avril 1921.



moteurs, que l'on appelle à tort ou à raison des Semi-Diesel. Par contre, la combustion extrêmement rapide du pétrole dans l'air comprimé ne peut être confondue avec l'explosion provoquée dans un mélange tonnant comprimé avant qu'on n'y effectue la mise de feu.

Voici maintenant les particularités les plus intéressantes de cette ingénieuse machine.

Le cylindre moteur est surmonté d'une culasse en alliage chrome-nickel,

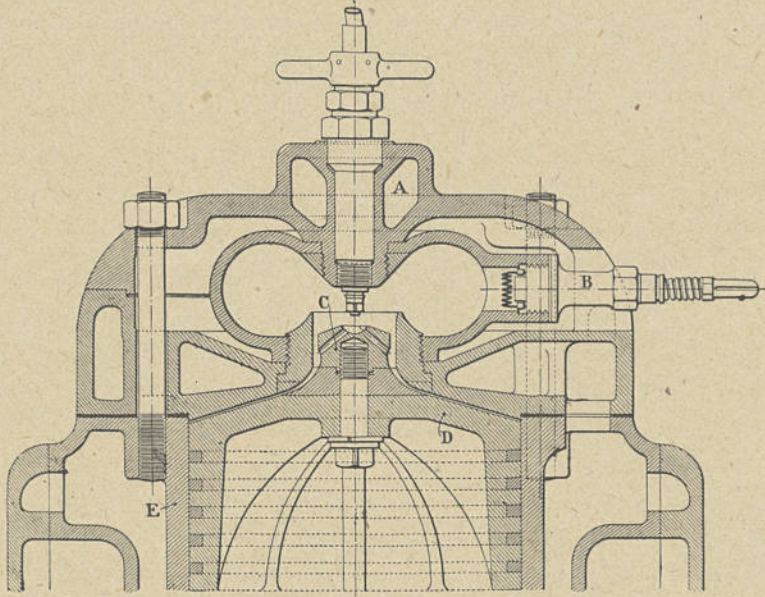


Fig. 285. — Cylindre Peugeot.

pouvant être élevée sans inconvénient à une haute température, qui n'est point réfrigérée par la circulation d'eau du cylindre E et qui est même protégée par une enveloppe d'air contre le refroidissement (fig. 285). Cette culasse, vissée sur le cylindre, lui est réunie par un couloir cylindrique C, analogue à celui de Hornsby et Akroyd (1). Le piston D porte à sa partie supérieure un appendice de diamètre un peu moindre que celui du couloir qui y pénètre à fin de course; il y refoule vivement une partie de l'air comprimé dans son ascension, en lui imprimant un mouvement tourbillonnaire, d'où résulte un brassage très favorable à la combustion. L'huile est injectée dans la culasse par un pulvérisateur fort simple, constitué par un tube fermé à son extrémité par une soupape automatique s'ouvrant de bas en haut. La pompe à huile est à piston plongeur, commandé par une came, ainsi que la soupape d'aspiration; un écrou butoir règle le débit. La soupape de refoulement est intentionnellement peu étanche, afin de permettre au liquide non parti du premier jet de revenir plus tard à la pompe.

1. *Vide supra*, page 308.



Les orifices du cylindre, que découvre le piston, forment une double couronne; les gaz brûlés s'échappent par la rangée supérieure; l'air de balayage entre par la rangée placée en dessous. Le téton, qui surmonte le piston, forme déflecteur et l'air est forcé de s'infléchir, pour gagner l'échappement.

Le dessin montre en B sur le côté de la culasse une bougie d'allumage qui ne sert que pour la mise en route.

La compression peut atteindre 20 kilogrammes, ce qui donne un bon rendement : on a relevé des consommations de 180 grammes de pétrole par cheval-heure. De bons résultats ont aussi été obtenus avec les huiles les plus diverses, mazouts et autres, et ce n'est pas le moindre mérite de cette machine de pouvoir s'en accommoder.

### 28. Moteurs à huile lourde Thomson-Houston.

La Compagnie française Thomson-Houston, concessionnaire pour la vente en France des moteurs Diesel-Carels, construit dans ses usines de Paris un moteur semi-Diesel à deux temps, du type vertical classique, sans soupapes, présentant d'intéressantes innovations.

La forme de la culasse a été étudiée en vue d'assurer une combustion aussi parfaite des huiles combustibles les plus diverses, tout en présentant une entière liberté de dilatation en toutes ses parties. Cylindre et culasse sont coulés en une fonte spéciale, de qualité appropriée.

La culasse hémisphérique porte en son centre un tube en acier au nickel d'allumage facile à démonter et à remplacer.

Le carter étanche fait office de pompe de balayage : il est muni de deux larges orifices d'aspiration, dont les clapets entièrement métalliques présentent une grande légèreté et procurent un rendement volumétrique élevé. Le conduit d'air, faisant communiquer le cylindre avec le carter, peut être partiellement obturé par un volet réglable : ce dispositif permet d'agir sur le balayage et de maintenir la température aux faibles charges. L'air de balayage est projeté à l'intérieur du piston, pour le refroidir, ainsi que le pied de bielle.

La pompe d'injection est attaquée directement par un excentrique et un levier oscillant; le régulateur, monté en bout d'arbre, déplace une pièce en forme de coin, interposée entre le piston de la pompe et le levier, et modifie ainsi la course de cette pompe. La quantité d'huile injectée est donc toujours proportionnée à la charge de la machine. La pompe est entièrement en bronze et ne possède aucun presse-étoupes sous pression. Les moteurs sont construits à volonté avec ou sans injection d'eau.

La puissance par cylindre forme une gamme de 7 à 70 chevaux; en accouplant 4 cylindres, on réalise donc des machines de 280 chevaux.

Pour les mises en route, on emploie l'air comprimé : un chalumeau à action



rapide permet d'amener en peu de temps la partie chaude de la culasse à sa température de régime. On peut aussi chauffer électriquement le tube en acier-nickel.

Dans les moteurs marins, l'embrayage est du type à plateaux, et le renversement de marche est obtenu par un train d'engrenages droits. Le volant porte le mécanisme du régulateur. Un excentrique commande une pompe à circulation d'eau et une autre servant de pompe de cale.

Tous ces moteurs marchent à des vitesses assez modérées, variables de 600 à 280 révolutions par minute.

Des essais ont été effectués à l'huile de palme de densité 0,916 et de pouvoir calorifique 8.600 calories, après réchauffage à 70°. Ces essais ont été entièrement satisfaisants.

### 29. Diesel mixte Still.

M. Still avait obtenu un premier succès en construisant dans les ateliers de la Scott's Shipbuilding Co un moteur à gaz mixte, que nous avons déjà décrit (1), dans lequel le fonctionnement à double effet est obtenu en développant un cycle à explosion sur la face supérieure du piston et un cycle à vapeur sur sa face inférieure : il a appliqué le même procédé au moteur Diesel.

Le cylindre est constitué par une enveloppe mince fortement frettée, garantie contre les ruptures et conditionnée spécialement en vue de la transmission du calorique. On récupère à la fois la chaleur perdue du cylindre et celle des gaz de la décharge, lesquels chauffent un réchauffeur d'eau et une chaudière tubulaire, On a du reste la faculté d'augmenter la vaporisation de celle-ci en la munissant d'un brûleur surnuméraire à huile lourde : le démarrage s'effectue alors à la vapeur.

Des essais effectués à Greenock ont fait constater une consommation de 167 grammes d'huile par cheval-heure dans une machine développant 350 chevaux, ce qui constitue un remarquable résultat, acheté, il est vrai, par la complication résultant de la multiplicité des organes.

Voici quelques données de construction et de fonctionnement d'un Diesel mixte à deux temps, à marche relativement lente, destiné à la marine.

|  |                  |
|--|------------------|
| Diamètre du cylindre.....                | 560 mm.          |
| Course du piston.....                    | 0,915.           |
| Vitesse en tours-minute.....             | 128.             |
| Compression au Diesel.....               | 21 kilogrammes.  |
| Pression moyenne au Diesel.....          | 6 kg. 25.        |
| Pression de la vapeur.....               | 7 kg. 85.        |
| Vide.....                                | 710 mm. mercure. |
| Puissance indiquée : par le pétrole..... | 411 chevaux.     |
| — par la vapeur.....                     | 42 —             |
| Total.....                               | 453 —            |

1. Voir ci-dessus, page 256 du ce volume.



|   |              |                                |                |
|---|--------------|--------------------------------|----------------|
| Puissance effective.....                              | 389 chevaux. |                                |                |
| Consommation de pétrole par cheval-heure effectif.... | 178 grammes. |                                |                |
| Bilan.....  | {            | Calories du pétrole .....      | 560.000        |
|   |              | — transformées en travail..... | 266.000        |
|   |              | Reste.....                     | <u>294.000</u> |
|   |              | Calories récupérées.....       | 240.000        |
|   |              | — transformées en travail..... | 26.300         |

---



## CHAPITRE XVII

---

### MOTEURS LÉGERS ET ULTRA-LÉGERS D'AUTOMOBILES ET D'AVIONS

---

Augmenter la puissance des machines motrices tout en réduisant leur surface, leur volume d'encombrement, et leur poids, voilà un problème qui s'était posé de lui-même depuis longtemps et dont la solution devait avoir d'importantes conséquences pratiques; en effet, en diminuant le volume occupé par les moteurs et leur masse, on multipliait leurs applications dans tous les domaines, et l'on pouvait espérer, par surcroît, d'améliorer leur rendement, et d'abaisser leur prix de revient et de vente. Tout le monde y trouvait son compte.

Le développement de l'automobilisme et de la navigation aérienne a rendu nécessaire un perfectionnement qui n'était jusqu'alors que désirable; le besoin se montra comme toujours bon conseiller, et l'on a réalisé des performances inespérées, qui seraient même incroyables si on ne les constatait et ne les touchait du doigt. Les moteurs légers, voire même ultra-légers, existent aujourd'hui et fonctionnent dans de remarquables conditions; c'est un nouveau, et peut-être le plus beau triomphe des moteurs à combustion interne de toute espèce, celui qui les met hors de pair, attendu qu'ils n'ont plus de rival. Nous développerons ce premier aperçu avant d'entrer dans le vif de la question.

C'est à la machine à vapeur que l'on s'est adressé d'abord et de grands efforts ont été faits dans cette voie par de nombreux ingénieurs; déjà en 1852, Giffard construisait pour son ballon une petite machine verticale, tournant à la vitesse considérée alors comme fort grande de 110 tours par minute, alimentée par une chaudière à tirage forcé, qui fut très admirée, et développa 3 chevaux; tout équipée, pour une heure de marche, elle pesait 160 kilogrammes, soit 53 kilogrammes par cheval effectif; ce résultat fut signalé comme remarquable. Plus tard, MM. de Dion, Serpollet et le colonel Renard, s'appliquèrent surtout à alléger le générateur de vapeur, non sans succès; mais ils ont été dépassés par Ader, qui employa la vapeur d'alcool comme combustible, à la manière de l'éolypile, éleva la pression dans la chaudière à 15 kilogrammes, réalisa un excellent condenseur, léger quoique de grande surface, fit de la multiple expansion dans quatre cylindres, construisit ses cylindres en acier et constitua une petite merveille, qui est maintenant exposée dans la grande salle du Conservatoire



National des arts et métiers. Ader avait battu l'américain Hiram Maxim qui, en 1890, établit sur son multiplan une machine à vapeur d'une centaine de chevaux, avec chaudière chauffée à la gazoline, dont le poids complet ressortait à environ 14 kilogrammes par cheval effectif. Mais ces chefs-d'œuvre d'ingéniosité et d'habileté technique n'apportaient pas encore une solution favorable au problème et l'on renonça à poursuivre l'irréalisable par l'emploi de la vapeur; quelques-uns pensèrent, il est vrai, que la turbine donnerait des résultats nouveaux; on voulait recourir à des turbines d'action, à grande vitesse de disque, du genre de Laval, qui sont légères et maniables. Toutefois, la nécessité d'une très grande démultiplication constituait encore une difficulté sérieuse et il restait, d'ailleurs, l'embarras du générateur de vapeur et de son foyer, ainsi que la charge de lourds approvisionnements de combustibles solides ou liquides.

L'électricité, la fée merveilleuse du siècle, parut alors mieux indiquée, et c'est à elle que le colonel Renard s'adressa, en 1884, pour propulser son célèbre dirigeable *La France*. Il employa une dynamo Gramme, de 9 chevaux, pesant 100 kilogrammes : cela faisait déjà 11 kilogrammes par cheval. Pour l'alimenter, on ne pouvait songer aux accumulateurs, et ceux-ci n'ont guère progressé depuis lors; Renard inventa donc sa fameuse pile chloro-chromique, à électrodes de zinc amalgamé et d'argent platiné, plongées dans une dissolution concentrée d'acide chromique dans l'acide chlorhydrique à 11° Beaumé; il s'y forme du chlore, qui attaque énergiquement le zinc et reconstitue de l'acide chlorhydrique par sa réaction sur l'hydrogène mis en liberté. C'est une pile à grand débit; et pourtant il fallait 20 kilogrammes pour fournir un cheval-heure. Le total de la masse atteignait donc 31 kilogrammes par cheval : on n'a pas persévéré dans cette voie, qui était une impasse.

Les gaz liquéfiés ont tenté quelques ingénieurs; mais l'attaque des lubrifiants et la difficulté de garder des joints étanches constituent des obstacles qui ne sont pas encore surmontés; d'ailleurs, un kilogramme d'acide carbonique liquide, par exemple, ne renferme pas l'énergie que l'on croit (1) et, d'autre part, on est toujours amené à chauffer le producteur de gaz pour lutter contre le refroidissement dû au changement d'état et à la détente. Les moteurs dits athermiques n'ont donné aucun résultat acceptable.

C'était le moteur à air carburé par l'essence de pétrole qui était prédestiné à surpasser tous les autres dans ce concours de légèreté, et il n'y avait pas à chercher mieux, car ce mieux n'existe pas. En effet, dans les moteurs à combus-

1. Un litre de CO<sup>2</sup> liquide, pesant 912 grammes à 15°, peut fournir en détente isothermique un peu plus de 20.000 kilogrammètres, mais il faut le réchauffer; en détente adiabatique, il ne peut donner que 7.281 kilogrammètres. Le calcul se fait par la formule classique :

$$= \frac{RT}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]$$

Un litre de gaz liquéfié n'alimenterait donc un moteur d'un cheval que durant quelques minutes à froid.



tion interne, le cylindre constitue la chaudière; il n'y a donc pas de foyer à entretenir et pas de tirage à provoquer; la tension considérable des hydrocarbures à la température ordinaire assure une gazéification spontanée en utilisant le calorique de l'air ambiant; les carburateurs dans lesquels cette fonction s'effectue sont des instruments d'un très petit volume et d'une faible masse; leur fonctionnement est sûr et pour ainsi dire automatique, à n'importe quelle allure et à toute altitude. Pour ce qui est des moteurs eux-mêmes, ils sont alimentés de combustibles liquides, riches en énergie, de faible densité dont la composition et les qualités sont sinon aisément définissables du moins faciles à surveiller; leur consommation est faible. Ces machines sont puissantes, à égalité d'alésage du cylindre et de course de piston, car les pressions moyennes développées derrière le piston et relevées sur les diagrammes sont considérables. Les systèmes de distribution employés tolèrent de très grandes vitesses; le conducteur en dispose dans une large mesure, jusqu'au ralenti le plus régulier, dans des conditions qui deviennent sans doute moins brillantes, mais restent acceptables.

Ces moteurs à essence étaient dans le domaine public depuis des années et leur construction était courante<sup>(1)</sup>, lorsque les besoins nouveaux de la locomotion sur terre, sur eau et dans les airs forcèrent les ingénieurs à recourir à eux pour ces emplois. Ils constituaient déjà une réalité industrielle et se trouvaient partout dans des conditions excellentes et à des prix abordables : il n'y avait qu'à les prendre et à les adapter au rôle qu'on leur imposait. On reconnut bientôt qu'ils s'y prêtaient d'une manière remarquable et qu'ils apportaient la meilleure solution au problème de l'heure.

Grâce à eux, l'aviation a progressé avec une extrême rapidité et chaque jour nous a fait admirer une prouesse nouvelle : les perfectionnements de la structure et de la construction des aéroplanes, l'habileté croissante et l'audace raisonnée des pilotes ont été d'importants facteurs du progrès, mais la légèreté, la souplesse et l'endurance des moteurs ont fait plus encore. Si les premières machines volantes de Maxim et d'Ader avaient été munies d'un de nos moteurs actuels, on les aurait vues tenir l'air non plus quelques minutes, mais quelques heures, et la royauté de l'air eût été conquise plus tôt. Le moteur à essence est le triomphateur du vol : on l'oublie trop ou plutôt on ne le dit pas assez.

Nous étudierons d'abord les conditions générales qu'il doit réaliser pour devenir le propulseur idéal de l'auto et de l'avion; nous considérerons ensuite les divers types adoptés en traitant à part la question de l'équilibrage. Nous pourrons alors décrire les modèles les plus réputés et les plus répandus aujourd'hui, en discutant leur valeur relative aux points de vue divers de leur robustesse, de leur endurance, de leur stabilité, de leur légèreté et de leur rendement.

1. Nous avons décrit ci-dessus plusieurs de ces moteurs, page 244 et suivantes.



I

## CONDITIONS GÉNÉRALES D'ALLÈGEMENT

Le problème qui se pose est de construire, pour développer une puissance déterminée, un mécanisme ayant le moins de masse possible, ou encore de produire, par une machine de dimensions données, le plus de travail que l'on peut en tirer. On dit aujourd'hui dans un langage néologique qu'il est permis de ne point goûter parce qu'il devient du jargon, mais dont l'usage généralisé nous fait une obligation, qu'il faut améliorer le plus que l'on pourra la *puissance massique* du moteur. En bon français, cela veut dire qu'il faut porter au maximum sa puissance par unité de poids (1).

Les moyens d'obtenir ce résultat sont divers.

Et d'abord, on s'efforcera de réduire individuellement tous les organes au minimum de masse compatible avec leur bon fonctionnement et leur durée; de plus, on supprimera tous les organes superflus et inutiles, et l'on cherchera à réaliser un cumul de fonctions par un seul organe : cela, c'est l'enfance de l'art.

Mais il ne suffit pas de gratter plus ou moins de matière sur telle ou telle pièce pour trouver une bonne solution; la question est plus complexe et il faut en venir à d'autres moyens.

On a songé dès l'abord à recourir aux grandes vitesses de régime, qui diminueraient les efforts à développer par un certain nombre d'éléments et permettraient de les alléger; du même coup, on augmentera la puissance de la machine qui croît avec le nombre de révolutions par minute.

On arrivera encore au même résultat en augmentant la pression moyenne au diagramme, c'est-à-dire en lui faisant prendre la plus grande aire que l'on peut : on y parvient en donnant à ce diagramme une forme aussi correcte que possible, donc aussi voisine qu'on peut le faire de la forme théorique, c'est-à-dire en corrigeant les imperfections du cycle, ou encore en enrichissant le mélange tonnant, pour développer la pression explosive; ce faisant, on améliore le rendement thermique, donc le nombre de kilogrammètres engendrés par calorie introduite dans le cylindre (2).

Enfin, en améliorant le rendement organique, ce qui revient à diminuer les résistances passives et les pertes correspondantes, on aboutit encore à tirer le plus de travail effectif, immédiatement utilisable, d'une quantité de combustible mise en œuvre dans un moteur déterminé.

1. Quelques auteurs ont introduit une autre expression, celle de *masse puissance*, inverse de la puissance massique; elle n'ajoute aucune idée nouvelle au mode de légèreté spécifique, consacré depuis longtemps par l'usage et compris de tout le monde.

2. Ces questions ont été traitées dans le tome I de cet ouvrage : nous renvoyons particulièrement aux chapitres consacrés à la « Théorie générale » et à la « Théorie expérimentale » les lecteurs désireux d'approfondir ces problèmes de l'allègement des moteurs.



Nous développerons successivement ces divers aperçus, mais nous devons faire observer tout de suite que les moyens employés sont quelquefois contradictoires et, qu'en recourant à tel d'entre eux, on s'expose à annuler l'effet d'un autre.

Nous ferons remarquer encore que les moteurs d'autos et d'avions n'ont fait appel à aucun principe nouveau, ni à aucune théorie spéciale pour atteindre à la perfection qu'ils ont acquise en ces dernières années. Que ces machines soient à quatre ou à deux temps, à simple ou double effet, mono ou polycylindriques, elles ne font que reproduire des types anciennement connus, auxquels il n'a fallu apporter que des modifications de détail et quelques changements d'agencement et de formes : les praticiens y ont contribué plus largement que tous les autres.

L'amélioration de la qualité des métaux a permis tout d'abord de diminuer le poids de nombreux organes, sans nuire à leur solidité et sans compromettre leur fonctionnement. Les vilebrequins se construisent désormais en acier à haute résistance, à grande teneur de nickel, ainsi que les bielles. On possède aujourd'hui des aciers au vanadium, donnant 175 kilogrammes de charge à la rupture avec 140 kilogrammes de limite d'élasticité et conservant un allongement de plus de 100 %. Un tel métal, convenablement utilisé, peut travailler sans danger à 25 kilogrammes. Certaines fontes au vanadium sont aussi très résistantes. L'acier est venu se substituer à la fonte pour quelques pièces; pour d'autres, c'est l'aluminium et ses alliages ainsi que le magnésium. Les bronzes d'aluminium, au cuivre, cobalt, manganèse ont des propriétés remarquables : ils présentent une résistance de 35 kilogrammes, des allongements de 18 % avec une densité voisine de 3, sont ductiles, faciles à mouler et à travailler. On les a employés avec succès dans la construction des cylindres et des pistons. Les premiers ont été faits à enveloppe d'aluminium sertie et soudée sur le cylindre intérieur, coulé en fonte spéciale; les pistons en aluminium ont été adoptés par de nombreux constructeurs. On a fait en aluminium et en magnésium des carters légers et robustes. D'autres alliages ont conduit à fabriquer des radiateurs, d'un poids minimum, extrêmement efficaces, en vertu de la conductibilité du métal. Les réservoirs à essence et à huile se construisent en laitons de composition étudiée en vue de combiner robustesse et légèreté.

Des modifications de forme ont permis de réduire au minimum le poids de certains éléments; une enveloppe unique entoure plusieurs cylindres; ceux-ci peuvent être entièrement usinés, sur le tour, sans surépaisseur; les culasses sont le plus souvent rapportées et elles forment le siège des soupapes; les bielles sont évidées, souvent en forme de double T ou de H, quelquefois tubulaires; les paliers ne sont plus portés par le carter, qui ne constitue plus qu'une cuvette très légère; les tuyauteries ont été noyées dans les enveloppes; on a construit des volants, dont la jante était rattachée au moyeu par des rayons analogues à ceux d'une roue de bicyclette, et l'on a pu les supprimer fréquemment.

En augmentant la vitesse, on fait croître la puissance d'un moteur, au moins



jusqu'à une certaine limite, qui varie avec la machine et dépend de sa constitution : en effet, la puissance augmente moins vite que la vitesse angulaire, et elle atteint bientôt un maximum au delà duquel elle décroît rapidement. La loi de cette variation est représentée par une courbe que l'on obtient en portant en abscisse les vitesses et en ordonnée les puissances correspondantes : cette courbe s'appelle la *caractéristique* du moteur; elle est sensiblement parabolique, comme on le voit sur la figure 286. Pour ce moteur, le maximum correspond

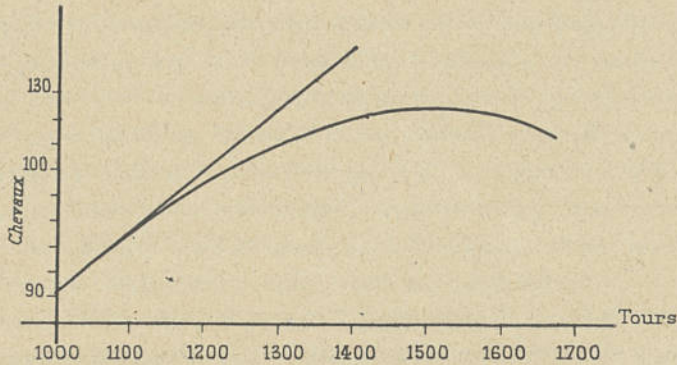


Fig. 286. — Caractéristiques des moteurs.

à 1.300 tours par minute; mais on arrive facilement à reculer ce maximum, car il existe de bons moteurs faisant 2.200 révolutions. Tel est le moteur Peugeot, qui remporta le grand prix au concours de l'A. C. F. de 1912; cette machine à 4 cylindres de 110 d'alésage et 0 m. 200 de course développa une puissance de 180 chevaux par 2.200 tours; la vitesse linéaire du piston atteignait à ce régime 15 mètres à la seconde, ce qui parut une extravagance aux praticiens les plus audacieux, mais qui est devenu assez ordinaire depuis lors. Au concours de la Coupe de l'Auto de 1907, le gagnant fut la voiture Sunbeam dont le moteur faisait 3.000 tours, avec très grande vitesse du piston. Reconnaissons toutefois que nous parlons ici de moteurs *poussés*.

L'examen des caractéristiques fournit de très intéressantes données relatives au fonctionnement d'un moteur. Leur maximum fait connaître la vitesse de régime. Les courbes doivent être rectilignes dans leur partie ascendante, et à grande courbure dans leur partie supérieure; une courbe pointue témoigne d'un manque de souplesse du moteur, qui s'emballe quand l'effort à vaincre diminue outre mesure et se cale pour un travail trop élevé. C'est le cas des moteurs pour lesquels on a cherché par-dessus tout à élever la puissance massique. Une caractéristique très aplatie caractérise une puissance constante dans de larges limites de vitesse angulaire; par contre, un moteur ainsi conditionné est relativement moins léger.

Pour qu'une machine atteigne son maximum de puissance en tournant à grande vitesse, il est nécessaire que cette allure ne nuise pas au remplissage de



sa cylindrée, à l'allumage du mélange, à sa combustion et à la décharge des gaz brûlés.

Examinons tour à tour ces divers points, qui touchent au fonctionnement intime du moteur.

Et d'abord, pourquoi la caractéristique ne suit-elle pas longtemps la direction de son point de départ? Parce que la masse du mélange admis en phase d'aspiration n'arrive bientôt plus à remplir complètement le cylindre : le piston progresse trop vite pour que le gaz puisse le suivre; on dit que le coefficient de remplissage est mauvais. Il en résulte une diminution du couple moteur et, par suite, une chute de puissance. Cela tient à ce que la soupape d'aspiration a une section trop faible, que la canalisation d'amenée ou le carburateur offrent trop de résistance au mouvement de la colonne gazeuse aspirée, par coudes ou étranglements, ou bien que la chapelle de la soupape d'aspiration est mal conformée ou disposée. Un trouble analogue sera occasionné par une étroitesse de la conduite ou de la soupape d'échappement, qui créera une contrepression sur le piston. Il importe donc au plus haut degré que l'arrivée du mélange frais et le départ des gaz brûlés soient facilités le plus possible. Leur vitesse ne doit pas dépasser 80 à 90 mètres par seconde; les soupapes doivent être larges, légères, très mobiles, à grande levée et à retombée rapide; elles seront généralement commandées, parce que les soupapes automatiques manquent de souplesse, à moins de rester très légères, ce qui empêche de les faire assez grandes ou oblige de les multiplier. Ces conditions, quelquefois contradictoires, mais qu'il importe de réaliser le mieux possible, sont les conditions *sine qua non* des grandes vitesses angulaires, et par conséquent de l'allègement des moteurs; c'est l'observation de ces données élémentaires qui a sans doute le plus contribué au perfectionnement des machines d'autos et d'avions.

Le mélange tonnant admis sera assez riche et homogène pour brûler à volume constant, et achever les réactions assez rapidement pour ne pas faire long feu derrière un piston animé d'une grande vitesse linéaire. La question de l'allumage n'est pas moins importante dans l'espèce. On veillera à ce qu'il soit produit par une étincelle nourrie et chaude; pour assurer une bonne mise de feu d'un mélange accidentellement pauvre et mal brassé, on augmentera le nombre des points d'allumage; les bougies peuvent être montées en série, au nombre de deux, voire même de trois; il se produit ainsi un phénomène de disruption qui est favorable. La variation du moment de l'allumage, qui se marque nettement sur les diagrammes, a une grande répercussion sur le cycle et détermine quelquefois la forme de la caractéristique : il faut de l'avance (de l'avance réelle), mais celle-ci deviendrait nuisible si elle était excessive.

Elle sera bientôt excessive dans les machines alimentées d'un mélange riche et dotées d'une forte compression. L'allumage réglable, permettant de pratiquer judicieusement le moment de la mise de feu, constitue, entre les mains d'un conducteur habile, un élément important pour les moteurs qui nous occupent.



La compression est un élément spécifique de la construction : le conducteur ne peut en disposer autrement qu'en la diminuant; il le fait généralement en laminant les gaz aspirés, ce qui peut nuire au degré de remplissage, mais donne le moyen de régler le fonctionnement d'après l'altitude ainsi que je l'ai déjà dit. En principe, la compression produit des réactions vives, des combustions parfaites et des utilisations excellentes, je l'ai surabondamment démontré depuis trente ans, et je suis dispensé d'y insister ici. Il en est de même de la température des parois, dont l'influence est considérable sur le rendement; j'ai toujours préconisé les parois chaudes, malgré les oppositions que j'ai rencontrées et les objections qui m'ont été faites; en automobilisme, l'expérience a prouvé qu'il y avait toujours bénéfice à laisser monter la température des parois du cylindre, en observant toutefois qu'elle ne doit pas nuire à la lubrification du piston et diminuer outre mesure la masse du mélange tonnant admis. Ce serait l'excès du bien, car on perdrait rapidement l'avantage recherché par une augmentation anormale des résistances passives et une réduction de l'énergie disponible dans l'impulsion motrice; il en résulterait une chute du rendement organique et une perte de puissance effective.

Les frottements à vaincre influent grandement sur la valeur de ce rendement organique; d'après les expériences de M. Lacoïn, les frottements du piston et de ses segments peuvent absorber près de 7 % de l'énergie développée par la machine, dans un cylindre même suffisamment lubrifié; les paliers occasionnent moins de résistance. Il importait donc de prêter la plus grande attention au graissage de tous les organes, et surtout à celui du cylindre; on a réussi à l'assurer dans les meilleures conditions par le graissage sous pression, et par l'emploi d'huiles de meilleure qualité, à point d'inflammation très élevé, pour les cylindres, très grasses et fluides pour les mouvements, telle qu'est l'huile de ricin par exemple.

Une question a été longuement discutée par les techniciens de l'aviation et elle n'est pourtant pas encore résolue : je veux parler du rapport de la course du piston au diamètre du cylindre. Convient-il d'allonger la course ou de fortifier le diamètre? Ou bien faut-il s'en tenir à un juste milieu, ainsi que la prudence le conseille dans les cas douteux? Essayons de résoudre ce problème. *A priori*, course et section du cylindre contribuent dans la même mesure à la puissance, « toutes choses égales d'ailleurs »; mais les choses ne sont pas « égales d'ailleurs » en toute hypothèse. Avec une longue course, la vitesse angulaire habituelle conduit à des vitesses linéaires du piston excessives; avec un fort alésage, ces mêmes vitesses peuvent nuire au remplissage, ou du moins elles imposent de développer outre mesure la section des soupapes et des canalisations. A un autre point de vue, les courses longues font croître le poids des cylindres, des bielles, et d'autres organes, par le seul fait qu'ils s'allongent; par contre, elles permettent de réduire leurs sections, parce qu'elles subissent de moindres efforts. Il se produit en tout cela des compensations que l'on peut croire équi-



valentes. A tout prendre, on admettrait pourtant volontiers que les forts alésages tolèrent mieux les grandes vitesses angulaires, mais alors les forces d'inertie sont multipliées et leur équilibrage devient plus difficile. Quelques ingénieurs ont cru que les longues courses permettaient de mieux parfaire la détente; il n'en est rien dans les moteurs à quatre temps, où la compression augmente avec la course, quand la course de compression est égale à celle de détente.

Les longues courses font croître la valeur de  $\frac{S}{V}$ , rapport de la surface interne du cylindre à son volume et intensifient quelque peu l'action nuisible des parois, mais facilitent leur graissage, ce que je crois plus important dans l'espèce, étant donnée l'énorme consommation d'huile dans les cylindres refroidis par l'air. Bref : on a peine à trouver un argument réellement décisif dans la question; aussi les partisans du cylindre carré, c'est-à-dire du cylindre de diamètre égal à la course, n'ont-ils pas été suivis, non plus que ceux qui faisaient la course double du diamètre, et l'on s'est arrêté à une solution moyenne en faisant  $C = 1,25 D$  et au plus égal à  $1,5 D$ . Cela conduit à des vitesses angulaires et linéaires suffisamment grandes, mais encore acceptables.

Alors qu'on subordonnait tout à la légèreté de construction, on avait réussi à conserver aux machines un rendement thermique et organique satisfaisant. Une consommation de 330 grammes par cheval-heure effectif était devenue courante; en estimant même à 11.000 calories le pouvoir calorifique supérieur des essences employées, on arrivait à 3.630 calories par cheval-heure et à un rendement de 18 %. Le moteur à gaz fixe donnait certes bien mieux, mais il fallait tenir compte des sujétions imposées à ces machines, et laisser au temps le moyen de conduire à des résultats plus remarquables.

En somme, sans avoir rien innové dans la constitution essentielle des moteurs à essence, on avait réussi à les adapter à leur nouvelle fonction et à les plier à de multiples exigences en ne sacrifiant rien de leurs qualités; malgré leur masse réduite, ils alliaient la robustesse à l'endurance et à l'économie. La théorie avait peu participé à ces progrès, qu'on devait plutôt à des modifications ingénieuses de menus détails et à des améliorations de construction.

Prenons date des résultats qu'on avait alors obtenus.

La commission technique de l'Automobile Club a ouvert une enquête, en 1907, pour déterminer la puissance massique des moteurs les plus répandus. Le poids a été défini par celui du moteur, avec son carburateur complet, un radiateur, des pompes réservoirs, et tuyauterie d'eau et d'huile; on n'a laissé de côté que la tuyauterie alimentant le carburateur, le silencieux et les approvisionnements d'eau, de combustible, d'huile et de graisse.

La moyenne des quatre cylindres ressortait à environ 6 kilogrammes par cheval effectif, pour une vitesse de 1.250 tours; ce résultat pouvait être considéré comme courant et dûment acquis; le poids de 4 kg. 5 se faisait remarquer et apprécier, celui de 3 kg. 62 constituait une exception réellement sensation-



nelle et un résultat qu'on n'aurait peut-être même pas obtenu en toute circonstance avec le moteur qui en avait permis l'heureuse réalisation.

Le tableau ci-dessous renferme les chiffres les plus caractéristiques de cette intéressante enquête (1).

| NOMBRE<br>DE CYLINDRES | Diamètre<br>du<br>cylindre | Course<br>du<br>piston | Vitesse<br>en<br>tours-min. | Poids<br>du moteur<br>total | Poids d'eau<br>de refroidissement | Puissance<br>effective | Puissance<br>massique |
|------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|
|                        | millimètres                | millimètres            |                             | kilogr.                     | kilogr.                           | chevaux                | kilog. chev.          |
| Monocylindre.....      | 110                        | 110                    | 1.450                       | 103                         | 18                                | 9                      | 11,44                 |
| — .....                | 120                        | 130                    | 1.650                       | 196                         | 14                                | 18                     | 10,89                 |
| 4 cylindres.....       | 110                        | 130                    | 1.300                       | 353                         | 23                                | 35                     | 10,08                 |
| — .....                | 110                        | 120                    | 1.100                       | 350                         | 32                                | 35                     | 10,00                 |
| — .....                | 112                        | 130                    | 1.200                       | 368                         | 35                                | 38                     | 9,68                  |
| — .....                | 110                        | 130                    | 1.500                       | 311,4                       | 30                                | 43                     | 7,24                  |
| — .....                | 120                        | 140                    | 1.200                       | 420                         | 30                                | 60                     | 7,00                  |
| — .....                | 120                        | 140                    | 1.200                       | 300                         | 30                                | 44                     | 6,81                  |
| — .....                | 102                        | 116                    | 1.460                       | 233                         | 20                                | 37                     | 6,29                  |
| — .....                | 145                        | 160                    | 1.360                       | 412                         | 20                                | 84                     | 4,90                  |
| — .....                | 155                        | 175                    | 1.100                       | 450                         | 40                                | 100                    | 4,50                  |
| — .....                | 160                        | 98                     | 2.300                       | 395                         | 30                                | 95                     | 4,15                  |
| — .....                | 150                        | 150                    | 1.000                       | 300                         | 25                                | 80                     | 3,75                  |
| — .....                | 170                        | 150                    | 1.300                       | 370                         | 40                                | 102                    | 3,62                  |

C'étaient déjà de remarquables résultats, mais ce n'était pourtant qu'une première étape dans la voie du succès : on voulut aller plus loin.

Il n'y avait qu'à persévérer dans la pratique si féconde des améliorations de détail pour faire descendre le poids par cheval en dessous de 4 kg. 5, voire même de 3 kg. 62 : l'armée des inventeurs attaqua la difficulté avec une ardeur qui devait conduire à la victoire.

Quelques-uns se sont laissés séduire par le fonctionnement à deux temps, qui permet une impulsion motrice par tour et double le travail.

Le moteur à deux temps, dans lequel les phases d'échappement et d'admission d'une part, de compression, d'explosion et de détente d'autre part, sont réunies, semble en effet mieux indiqué que le moteur à quatre temps pour la réalisation des machines légères, à condition toutefois que l'admission du mélange et sa compression ne s'effectuent pas dans un cylindre distinct, comme cela a lieu dans les puissants moteurs à deux temps : dans le moteur Kœrting, deux cylindres compresseurs, l'un pour le gaz, l'autre pour l'air, sont même adjoints au cylindre moteur. Cette complication est évitée dans les petits moteurs dans lesquels on opère généralement la compression dans le cylindre moteur ou dans le carter par la face antérieure du piston, lequel produit ainsi deux effets.

Dans ces conditions, les deux temps doivent contribuer à réduire le poids d'un moteur par cheval. Mais certains facteurs interviennent pour les alourdir. Ainsi la compression dans les deux temps est plus faible, la pression moyenne est donc moins élevée, la puissance moindre, le rendement organique et thermique inférieur et la consommation plus grande; il en résulte une augmentation

1. BOURDIL, « Note sur le poids des moteurs », *Bulletin de la Commission technique*, février 1908.  
LUMET, « Moteurs à grande puissance massique », *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, octobre 1908.



de masse par unité de puissance et une surcharge d'approvisionnement de combustible. En somme, la grande réduction de poids revendiquée par quelques-uns pour les deux temps reste contestable.

Néanmoins, de nombreux chercheurs suivent toujours cette piste et des modèles nouveaux ont été établis qui semblent allier une légèreté relative à une bonne marche; des mesures ont été prises pour que le mélange comprimé dans le carter se transvase au cylindre sous une pression plus considérable, qui assurera un bon remplissage et un balayage énergique du cylindre; on a apporté plus de soin qu'autrefois au relèvement du rendement organique et l'on a obtenu un fonctionnement plus économique et non moins régulier. De sérieux allègements ont été signalés; citons entre autres la machine Colmant : un cylindre de 100 millimètres d'alésage et 0 m. 120 de course a pu développer 9 chevaux par 1.236 tours à la minute; un cylindre à quatre temps de même diamètre ne donnerait guère que 7 à 8 chevaux.

Il faut donc reconnaître que les efforts des inventeurs, voués aux deux temps, ont été couronnés d'un certain succès, au point de vue de la réduction des masses des moteurs; l'ingéniosité et la simplicité des dispositifs employés est indiscutable. Malgré cela, les deux temps n'ont pas plus détrôné les quatre temps dans ce domaine que dans les autres. Ces dernières machines se sont admirablement prêtées en effet à l'augmentation de la puissance sous un faible volume et par un faible poids, sans rien compromettre de leurs remarquables qualités.

La plupart des ingénieurs qui se sont consacrés à l'établissement des moteurs ultra-légers sont donc restés fidèles aux quatre temps, et ils ont persévéré dans la recherche des modifications de détail, qui avaient déjà conduit à de si heureux perfectionnements. Continuons de les suivre dans cette voie.

Augmenter la pression moyenne au diagramme, c'était le moyen le plus direct de développer la puissance d'une machine d'alésage et de course déterminée, et de nombreux inventeurs se sont proposé cet objectif extrêmement rationnel. Les améliorations du cycle, qu'on avait déjà obtenues, étaient un premier pas dans cette direction : on a voulu faire mieux encore, en enrichissant le combustible par des additions de divers carbures riches en calories. On essaya d'abord d'adjoindre à l'essence de 18 à 20 % d'éther; mais on augmenta ainsi la rapidité de l'explosion au point de donner naissance à des effets brisants, et des machines furent mises hors d'usage, après des courses de 200 kilomètres. On ne fit pas mieux en incorporant au carbure quelques grammes (de 5 à 6 par litre) d'acide picrique : on se vit obligé d'augmenter l'adduction de l'air et le réglage devint difficile. Quelques-uns cherchèrent à développer l'activité de l'air comburant par un mélange d'oxygène, ce gaz étant obtenu par exemple en faisant agir l'eau sur le tétraoxyde de potassium ou sur l'oxylythe, bi-oxyde de sodium; on a aussi proposé l'emploi de produits nitreux, tels que la nitro-naptaline ou bien même la nitro-glycérine, corps explosifs, qui apportent avec



eux le combustible et le comburant et possèdent une énorme réserve d'énergie latente, sous un volume restreint. Les insuccès des partisans de l'acétylène, dont la violence n'a pu être domptée, sont une indication qui doit nous servir de leçon et dont il faut tirer profit. Il y a certaines richesses de mélange incompatibles avec une compression et une température de paroi déterminée; elles constituent une limite que nous croyons atteinte. Les charges Brisantes ne réussiront pas mieux en moteurs que dans les armes à feu (1).

Restons-en donc à l'essence ordinaire : elle satisfait d'elle-même et à elle seule aux conditions présentes des applications. Elle permet couramment de développer une pression moyenne de 7 à 7,5 kilogrammes par centimètre carré dans des machines faisant 1.800 tours par minute, en pratiquant une compression volumétrique ne dépassant pas 5 (2); que veut-on de plus? Un moteur polycylindrique Renault, développant 1.600 chevaux par 1.600 tours, avec une compression de 5, a fait relever une pression moyenne de 8 kg. 33; c'est un chiffre dont on doit se contenter, car, à notre avis, il était inespéré.

Qu'on cherche donc simplement à obtenir une forte pression explosive et moyenne avec le carburant essence.

On veillera d'abord et surtout à assurer un bon remplissage du cylindre; pour cela, on a utilisé fort habilement l'inertie du mélange appelé dans le cylindre en donnant un certain retard à la fermeture de la soupape d'admission : la densité de la charge augmente, donc aussi la puissance développée par un cylindre donné, dans des conditions déterminées de vitesse angulaire et de richesse du mélange. Ce retard peut être judicieusement combiné avec une avance à l'échappement.

En intensifiant le fonctionnement des moteurs, on exposait le cylindre et ses accessoires à s'échauffer outre mesure : pour empêcher les soupapes, et surtout celles d'échappement, de prendre une température trop élevée, on les a éloignées des points chauds de la culasse et l'on a refroidi leurs sièges. On a fait mieux encore. La pratique a montré que le refroidissement de la colonne d'échappement des gaz de la décharge a pour effet d'augmenter la puissance des moteurs, en réduisant la contre-pression, à condition toutefois que l'appareil réfrigérant n'ait pas un développement exagéré, dont l'influence s'exercerait en sens contraire, en créant une résistance au mouvement des gaz et par conséquent une contre-pression nuisible. Des expériences intéressantes de M. Lumet (3) ont établi le fait, dont il devra être tenu compte dans la construction.

Dans le moteur américain Rankin-Kennedy, l'échappement se fait dans une sorte de trompe, et il est utilisé pour effectuer un violent appel d'air qui produit

1. Diesel avait pris, en 1906, un brevet relatif à une introduction d'éléments explosifs qui n'a jamais reçu d'application.

2. En moteurs légers, à grande vitesse, sur lesquels il est difficile de lever des diagrammes corrects, on définit la compression par le rapport  $\frac{V + v}{v}$ , dans lequel V est la cylindrée et v le volume de la chambre; c'est ce qu'on appelle quelquefois la *compression froide*.

3. *Bulletin officiel de la Commission technique de l'Automobile-Club*, octobre 1906.



un double résultat; l'air qui se mêle aux gaz brûlés abaisse leur température et, comme il est aspiré à travers l'enveloppe du cylindre, il rafraîchit les parois et remplace la circulation d'eau aussi bien qu'il dispense de l'emploi d'un ventilateur spécial.

Ces questions de réfrigération ont pris une importance plus grande encore, lorsqu'on a cherché à augmenter la compression, qui est l'élément primordial des grandes puissances et des forts rendements. Les mélanges trop riches, hautement comprimés, sont facilement inflammables et donnent lieu à des allumages prématurés qu'on ne peut tolérer; le besoin d'un refroidissement énergique se fait sentir dès lors impérieusement. Or, il est plus aisé de garnir un cylindre d'ailettes réfrigérantes que de l'entourer d'une enveloppe à circulation d'eau forcée, qui exige l'emploi d'une pompe et d'un radiateur et oblige d'emporter une provision d'eau. Mais l'air a une capacité calorifique trop faible pour être un réfrigérant efficace, à moins qu'on ne lui donne une énorme vitesse, qu'on ne rende son action méthodique et qu'on multiplie ses contacts avec de larges surfaces très conductrices de la chaleur; il fallait donc employer des ventilateurs extrêmement actifs. Cette partie du programme a été réalisée sans trop de tâtonnements.

On pouvait croire que la réfrigération par l'eau était un obstacle à l'allègement; on se trompait en généralisant trop le fait. Des expériences précises ont permis de constater que le plus souvent le refroidissement par l'air fait baisser le rendement organique en même temps que le coefficient de remplissage et que, de ce double chef, il s'établit une compensation (1).

M. Chenu a présenté au laboratoire de l'Automobile Club de France un moteur à quatre cylindres, à refroidissement par eau dans des enveloppes venues de fonte avec les cylindres, dont M. Lumet a fait un essai qui a donné lieu à un rapport très favorable (2). Les cylindres sont disposés par paires; les soupapes sont commandées de part et d'autre du moteur. L'alésage des cylindres est de 105 millimètres; la course des pistons est de 0 m. 130; la vitesse est réglée à 1.330 tours par minute environ. La puissance développée, mesurée au moulinet Renard, a atteint 49,98 chevaux, auxquels on a décidé d'ajouter 5,5 % soit 2<sup>es</sup>,75, inutilement absorbés dans un silencieux; c'est donc un moteur de près de 52,5 chevaux. Or, il pèse 117 kilogrammes, y compris son carburateur, la pompe à eau et la tuyauterie de circulation, la pompe à huile, un filtre, la commande d'un décompresseur double, le volant, etc.; le réservoir d'essence n'était pas compris dans ce poids, qu'on pourrait donc majorer de 5 kilogrammes. Le poids du moteur complet ressort par suite à 2 kg. 350 environ par cheval.

Le refroidissement par l'air est généralement préféré pour les moteurs d'aviation; au contraire, la réfrigération par l'eau est de règle sur les voitures automobiles. Presque toujours l'eau est mise en circulation par une pompe

1. Voir, sur ce sujet, *la Technique moderne*, février 1921, page 60.

2. *Bulletin officiel de la Commission technique*, tome V, n° 42, janvier 1910.



centrifuge à ailettes, à engrenages ou à palettes; le liquide traverse un radiateur à ailettes ou bien à nid d'abeilles, dont l'efficacité est augmentée par un ventilateur, continuant d'agir quand la voiture est arrêtée.

Dans les moteurs Antoinette, on laisse l'eau bouillir dans l'enveloppe des cylindres et l'on condense la vapeur produite dans un appareil à grande surface, qui fait revenir l'eau récupérée à un réservoir.

Nous pourrions multiplier les exemples de ce que la construction française a su réaliser par une étude rationnelle de tous les détails : c'est elle qui a vulgarisé les grandes puissances massiques, qui ont tant contribué à l'essor de la navigation aérienne. Les Américains attachaient moins d'intérêt que nous à l'allègement. Le moteur, monté par les frères Wright, était un quatre cylindres de 108 millimètres d'alésage, 0 m. 900 de course, ne faisant que 450 tours; sa puissance ne dépassait pas 25 chevaux et il pesait, radiateur compris, 90 kilogrammes, soit 3 kg. 6 par cheval. Les célèbres aviateurs déclaraient se contenter de ce résultat en prétendant qu'ils obtenaient ainsi toute la régularité désirable, en s'assurant une solidité à toute épreuve et une sécurité de fonctionnement absolue : leur thèse était défendable, mais elle ne s'imposait pas. Le 25 chevaux, qui permit à Blériot de franchir le détroit du Pas-de-Calais en vingt-huit minutes, ne pesait que 65 kilogrammes, donc 2 kg. 6 par cheval, en faisant 1.400 tours à la minute; il possédait une admirable souplesse et assurait à son pilote une sécurité qui lui donna le moyen d'exécuter un exploit que les Wright n'avaient pas osé tenter.

Il semble que les ingénieurs allemands se soient longtemps laissés dépasser par les nôtres : nous avons essayé avant eux les pistons en bronze d'aluminium, les arbres et axes creux en acier au nickel, ou en acier chromé, conduisant par leur intérieur l'huile refoulée sous haute pression, les cylindres désaxés, etc. Ils ont regagné depuis lors le temps perdu, mais leur construction est restée plus lourde et plus massive que la nôtre (1).

MM. H. et A. Dufaux, de Genève (2), ont demandé la solution du problème des moteurs légers à une combinaison entièrement nouvelle; ils ont fait emploi du double effet et de la disposition en tandem. Dix cylindres verticaux formant cinq groupes parallèles, chacun d'eux composé de deux cylindres en tandem, attaquent un arbre vilebrequin à cinq coudes; ces coudes sont calés à 72°, de sorte qu'il y a quatre manetons en travail, lorsque le cinquième passe par le point mort. D'autre part, la distribution est réglée de façon à ce que, au moment où l'un des manetons subit une poussée de bas en haut, le suivant soit pressé de haut en bas; on réalise ainsi un équilibrage pratique des pièces soumises à un mouvement alternatif. Le fonctionnement est analogue à celui d'une machine à 20 cylindres à simple effet; il se produit donc cinq explosions motrices par tour.

1. *Le Génie civil* a donné, en 1909, sous la signature de M. Dantin, un article très documenté sur les moteurs de construction allemande, auquel nous renvoyons le lecteur. Il nous restera à signaler quelques singularités de construction.

2. *Le Génie civil*, 29 août 1908.



Ce moteur a été déclaré au Salon de l'Automobile de 1907 pour une puissance de 120 chevaux, qu'il développerait par 1.500 tours : les cylindres mesurent 100 millimètres d'alésage et la course des pistons est de 0 m. 110. Le poids des mécanismes, non compris quelques accessoires, ne serait que de 85 kilogrammes, soit de 708 grammes par cheval; et pourtant les fontes ne devaient travailler qu'à 1 kg. 5 et les aciers à 15 kilogrammes par millimètre carré. A en croire ce que nous venons de dire, cette machine détiendrait un record, qui aurait, il est vrai, besoin de confirmation : le silence qui s'est fait sur ce modèle autorise en effet quelques doutes.

Quoiqu'il en soit, nous voyons que l'allègement des moteurs est la conséquence directe d'une judicieuse application de métaux excellents et choisis, d'une étude rigoureuse des formes les meilleures, et d'une recherche des éléments constitutifs des hauts rendements thermique et organique. Mais il semble que la multiplication rationnelle du nombre des cylindres soit un des facteurs les plus importants de la puissance massique.

Nous sommes amenés maintenant à traiter cette importante question.

L'expérience avait démontré rapidement que, dans les moteurs poussés, le diamètre d'alésage des cylindres ne pouvait sans inconvénient dépasser une certaine limite, comprise entre 150 et 175 millimètres; au delà, les difficultés d'alimentation s'aggravaient, l'homogénéité des charges était compromise, le remplissage des cylindrées se faisait mal et surtout le refroidissement des soupapes de décharge, démesurément amplifiées, se présentait comme impossible. Comme il fallait cependant augmenter de plus en plus la puissance, on en vint à l'emploi de nombreux cylindres.

Les quatre cylindres avaient fait leurs preuves : on aborda avec confiance les six cylindres; ils avaient paru dès 1901; en 1905, ils n'effrayaient plus personne, et l'on put constater au Salon de 1906 que tous les constructeurs avaient créé des modèles de ce type. Six cylindres de 100 millimètres d'alésage équivalent à quatre de 127 millimètres, toutes choses égales d'ailleurs. On pouvait croire, il est vrai, que ces six cylindres pèseraient plus que les quatre qu'ils remplaçaient, qu'ils coûteraient plus cher, qu'ils feraient croître considérablement les résistances passives, etc.; on pouvait aussi redouter la complication résultant de l'enchevêtrement de nombreux organes de commande et de réglage, qui sont proportionnels au nombre des cylindres. Mais la pratique fit voir que les craintes que l'on avait eues étaient exagérées, et que l'on pouvait sans inconvénient persévérer dans cette direction.

La construction des moteurs légers avait trouvé sa voie et l'on alla plus avant : on alla peut-être même trop loin.

Forest avait fait breveter à un moment donné une machine à 32 cylindres, en 4 groupes de 8, actionnant un seul arbre : c'était l'excès, mais on était en bon chemin. Deux modèles de 18 et 24 cylindres furent primés par le Ministère de la Marine française à un concours de sous-marins. Généralement on ne dépassa



pas 8 cylindres; le célèbre moteur Antoinette fut établi dans ces conditions par M. Levavasseur, d'abord pour la propulsion des canots automobiles, puis des dirigeables et des aéroplanes Santos-Dumont et Voisin. Les 12 cylindres restèrent longtemps une exception.

De fait, on n'a guère de raisons sérieuses d'aller plus loin, attendu qu'alors une complication exagérée devient la rançon d'un allègement problématique.

Deux questions se posèrent : et d'abord, comment grouper les cylindres entre eux? Les 4 cylindres avaient été établis d'ordinaire en deux groupes de deux; pour les 6 cylindres, on ajouta un autre groupe de deux. C'était ce qu'on appelait la disposition par cylindres jumelés : elle présentait des inconvénients au point de vue de la répartition des charges. L'alimentation de ces moteurs se fait irrégulièrement, certains cylindres recevant plus de gaz que les autres. On chercha à mieux organiser les tuyauteries, sans grand succès, car la marche restait inégale et les reprises se faisaient mal. On reconnut que le mieux était de réunir les cylindres en deux groupes de trois, en donnant à chaque groupe son carburateur. En produisant alternativement les explosions dans l'un et l'autre groupe, on évite que le remplissage de l'un s'oppose à celui de l'autre. Cette répartition des impulsions motrices a, de plus, l'avantage de soumettre le vilebrequin à un travail plus régulier et de lui imposer une moindre fatigue. Cela nous amène à considérer la seconde question, celle de la régularisation du couple moteur et de la suppression des trépidations et des effets de déséquilibre.

C'est maintenant une question de groupement des cylindres autour du vilebrequin. Elle est d'une importance majeure et nous l'étudierons longuement.

## II

### LES GROUPEMENTS DE CYLINDRES

Les cylindres peuvent être disposés de manière très différente par rapport à l'arbre : verticalement, *en ligne*, à la suite les uns des autres; *en V*, deux à deux, à 60° ou 90° l'un de l'autre, leurs axes étant dans le même plan et les directions des deux bielles se croisant sur un même maneton, ou bien les axes étant légèrement déplacés; à *cylindres opposés*, souvent horizontaux, système qui est une variante du précédent, l'angle s'étant ouvert jusqu'à 180°; *en étoile*, les cylindres placés suivant les rayons d'une même circonférence, qui a pour centre l'axe de l'arbre à maneton unique sur lequel s'articulent toutes les bielles; et, enfin, les *moteurs rotatifs*, à cylindres tournants, ceux-ci disposés en étoile autour d'un vilebrequin fixe; ces cylindres font corps avec une couronne



formant une sorte de carter central, et ils tournent avec elle autour de l'axe de la machine en développant la puissance motrice.

Toutes ces dispositions concourent à un double objectif : partager la puissance à fournir entre plusieurs cylindres pour réduire ainsi le poids des cylindres, des pistons, de leurs accessoires, de l'arbre de couche, de ses paliers et du bâti, et régulariser suffisamment le couple moteur pour qu'on n'ait plus besoin de volant.

Il y a intérêt, au point de vue de l'allègement total, à mettre en action de nombreux cylindres, attendu que pour chacun d'eux la puissance est proportionnelle au carré de son alésage, tandis que son poids varie avec le cube, les conditions du fonctionnement étant les mêmes et toutes les dimensions restant dans le même rapport. On aurait cependant tort d'exagérer le nombre des cylindres, car on se verrait obligé de trop renforcer les organes de rassemblement pour leur garder la rigidité nécessaire, sans compter que l'on aurait à surmonter de nombreuses difficultés de construction et de réglage, qui compromettraient les avantages réalisés d'autre part. Aussi ne dépasse-t-on guère le nombre de 6 ou 8 pour les cylindres rangés en ligne. Ce type est particulièrement en vogue pour les automobiles, avec 4 cylindres; les 8 et 12 cylindres ont davantage été en faveur en aviation, surtout à l'étranger. Mais cette multiplication des cylindres conduit à un long vilebrequin, qu'il faut soutenir par de nombreux paliers, si l'on ne veut l'exposer à des flexions nuisibles et dangereuses.

La disposition en V permet l'emploi d'un vilebrequin unique pour deux cylindres, d'où une réduction de longueur de l'arbre et une économie d'établissement. De plus, le groupement par deux et la symétrie qui en résulte facilitent la commande des soupapes par un seul arbre à cames, placé dans l'angle du V.

Dans les moteurs montés en étoile, il n'y a plus qu'un seul maneton, sur lequel s'articulent toutes les bielles : c'est une grande simplification. M. Esnault-Pelterie, qui a attaché son nom à ce mode de groupement, a montré qu'un moteur de 35 chevaux, à 7 cylindres de 85 millimètres d'alésage sur 0 m. 95 de course, donne toute sécurité avec un vilebrequin de 2 kg. 500 en acier chromenickel, ne fatiguant pas à plus de 15 kilogrammes en marche; cette machine, réglée à 1.500 tours, ne pèse que 52 kilogrammes en ordre de marche, avec sa tuyauterie et ses carburateurs, soit 1.500 grammes par cheval effectif.

Si les cylindres rayonnaient en tous sens autour du centre, les cylindres tournés vers le bas seraient envahis par l'huile de graissage, ce qui diminuerait le rendement et rendrait l'allumage singulièrement précaire. On s'est donc trouvé amené à ne pas placer de cylindre le fond en bas : voici comment on a pu satisfaire à cette condition. Prenons pour exemple une machine à 5 cylindres, que nous numérotions de 1 à 5 (fig. 287); les cylindres 3 et 4 auraient la tête en bas, si l'on n'adoptait une modification du type. Mais transportons le groupe inférieur 3 et 4 dans un plan parallèle à celui des cylindres supérieurs, plaçons-le légèrement en arrière de celui de la figure et faisons-le tourner de 180° : il viendra se placer derrière les cylindres 5, 1 et 2, en 3' et 4', suivant les bissectrices des



angles des cylindres du premier groupe. Pour ne pas changer les temps d'action des cylindres, il faut affecter un maneton spécial au groupe 3 et 4, de sorte qu'on a un vilebrequin à deux coudes décalés de 180°, comme ce serait pour un 2 cylindres; l'un des manetons supporte l'effort des trois premiers, l'autre celui des deux autres. Chaque groupe a son système de cames.

L'allumage impose une condition inattendue : il faut toujours que le nombre des cylindres soit impair. Le fait se démontre aisément ainsi qu'il suit. Le fonctionnement en quatre temps s'achève en deux tours : considérons les cylindres disposés radialement, comme dans la figure 287, et rappelons-nous que nous devons obtenir en deux tours l'allumage de tous les cylindres, en évitant toutefois qu'au second tour l'allumage se répète dans les mêmes cylindres qu'au premier tour. Cela arriverait, si nous faisons jaillir l'étincelle dans les cylindres, suivant leur ordre naturel 1, 2, 3, 4 et 5; le second tour travaillerait alors à vide, ce qui aurait de graves inconvénients au point de vue de la régularité. Supposons, au contraire, que l'on allume les cylindres de deux en deux : dans ce cas, les cylindres qui travailleront au deuxième tour seront restés inopérants au premier. Le second tour débutera par le cylindre 2, puis viendra 4, c'est-à-dire les cylindres d'ordre pair, alors que le premier tour aura allumé ceux d'ordre impair, 1, 3 et 5. Cette condition nécessaire et suffisante n'est réalisable que si le nombre des cylindres est impair. Il en est de même quand tous les cylindres ont leur tête en haut, en formant éventail.

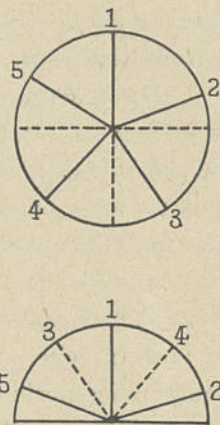


Fig. 287. — Cinq cylindres en étoile et éventail.

La distribution dans ces cylindres pourrait se commander par un arbre à cames ordinaire, tournant à demi-vitesse, mais cette manière de faire obligerait à des complications que M. Esnault-Pelterie (1) a évitées en employant une came unique qu'il fait tourner en sens contraire du moteur,  $n - 1$  fois moins vite (4 fois dans le cas de 5 cylindres), et qu'il munit de  $\frac{n - 1}{2}$  bossages (soit deux bossages). La démonstration de cette condition est donnée dans le mémoire auquel nous empruntons ces intéressantes considérations. Ces moteurs se font à 5, 7, 9 cylindres et plus : les cylindres forment toujours un éventail et ce mot est souvent employé pour les spécifier. L'admission et la décharge sont opérées par une seule et même soupape, d'une forme spéciale, à levée différente suivant la fonction qu'elle remplit; une came à doubles bossages en effectue la commande, ainsi que nous le dirons plus loin, au chapitre des monographies.

Les moteurs Anzani et Farcot affectent aussi la disposition des cylindres en éventail.

1. Lire à ce sujet le remarquable travail de M. Esnault-Pelterie, intitulé « Moteur extra-léger à explosion » dans les *Mémoires des Ingénieurs civils*, 1907, tome II, page 610.



C'est un Anzani qui propulsait l'aéroplane sur lequel Blériot effectua son exploit, tant admiré à cette époque (c'était le 25 juillet 1909), en traversant le détroit du Pas-de-Calais en moins d'une demi-heure.

M. Lecornu a fait un éloge mérité du moteur de M. Ambroise Farcot en le présentant à la Société d'Encouragement (1); il a déclaré avoir vu fonctionner une machine de 30 chevaux et avoir constaté la parfaite régularité de son allure. Ce moteur pèse, complet et en ordre de marche, 38 kilogrammes, soit 1 kg. 270 par cheval; un moteur de 100 chevaux ne pèserait même que 95 kilogrammes, donc moins de 1 kilogramme par cheval : il serait dès lors au premier rang des moteurs légers, au dire des constructeurs.

Cette machine réalise la disposition étoilée d'une manière originale; elle est à 8 cylindres à axe horizontal, symétriquement disposés autour d'un arbre unique vertical, suivant les diagonales d'un octogone régulier. Les cylindres sont répartis en deux groupes, dans deux plans horizontaux superposés : les quatre cylindres de chaque groupe agissent sur un même bouton de manivelle, les manivelles des deux groupes étant diamétralement opposées. Les prolongements des axes des cylindres ne passent pas exactement par le centre de rotation de la manivelle correspondante, dans le but de diminuer l'obliquité des bielles pendant les périodes de travail : cette manière de faire avait déjà été indiquée par de Bishop, dans son moteur de 1872; elle réduit les pressions latérales et allonge la course de détente tout en imprimant au piston une vitesse plus grande.

Chaque cylindre ne possède ainsi qu'une soupape unique, servant tour à tour à l'admission et à l'échappement, commandée par une came à deux bossages, qui remplissent la double fonction. Cette soupape admet le mélange tonnant par un axe creux, enveloppé par un manchon concentrique servant de guidage et de distributeur, à la façon d'un piston-valve; ses lumières sont fermées au moment de la décharge.

Les moteurs rotatifs constituent probablement le type le plus curieux de moteurs légers. On en attribue l'invention à Adams, à Auriol, voire même à d'autres, qui en ont revendiqué la paternité lorsqu'ils ont vu l'idée reproduite, modifiée et sans doute perfectionnée par les ingénieurs qui l'ont fait breveter à leur nom. Ainsi que nous l'avons dit ci-dessus, la nouveauté consiste à entourer un arbre fixe d'une étoile de cylindres rayonnants, qui tournent autour de lui; la couronne qui les porte est motrice. L'arbre porte un maneton excentré sur lequel s'accouplent les bielles, dont le pied s'articule sur le pivot des pistons : la rotation des cylindres produit le déplacement relatif des pistons. Il est indiqué de faire arriver le mélange tonnant par l'arbre fixe, creusé à cet effet, et de l'introduire dans les cylindres à travers les pistons; des soupapes automatiques peuvent en faire la distribution. Les soupapes d'échappement, portées par les culasses, sont commandées sans grande difficulté par des tringles partant du centre : les

1. *Bulletin de la Société d'Encouragement*, 15 janvier 1909.



gaz brûlés s'échappent donc par la périphérie. Il est à remarquer que les effets de la force centrifuge favorisent l'admission et la décharge, contribuent à assurer un excellent graissage, produisent un refroidissement énergique par l'air mis en mouvement et utilisent comme volant les principales masses du moteur : mais les efforts qu'elle fait naître exigent des armatures robustes et une construction parfaite. Cette disposition des moteurs offrait donc un grand intérêt et les essais qui en furent faits attirèrent l'attention des ingénieurs compétents. Il ne s'agit évidemment pas de construire sur ce type de puissantes machines; toutefois M. Farwell en a établi une de 36 chevaux, à 5 cylindres, à axe vertical, et la Société des moteurs Gnôme a construit dans ses ateliers de Gennevilliers un 100 chevaux, à 7 cylindres de 110 millimètres, faisant 1.200 tours, destiné à mouvoir des hélices d'aéroplane. On en a construit de bien plus puissants depuis lors. Le poids de ces machines ne dépasse guère 1 kilogramme par cheval, ce qui permet de les ranger parmi les types ultra-légers. Les succès remportés à la semaine de Reims par les aéroplanes munis du moteur rotatif Gnôme avaient démontré que ce type de machines était appelé à prendre rang parmi les meilleurs moteurs; il était monté sur les appareils Blériot, Farman, Bréguet, Goupy et Sommer.

M. Breton (1) a présenté au Salon de l'Aéronautique d'octobre 1909 un moteur rotatif à 12 cylindres, qui applique le même principe que le Gnôme; il est constitué par l'assemblage de deux moteurs à 6 cylindres, juxtaposés sur un même axe dans chaque groupe; les cylindres sont reliés deux à deux par leurs culasses, et les pistons attaquent deux par deux une manivelle calée sur un plateau, porté par un pignon, lequel engrène avec une roue centrale fixe. Il y a trois pignons de ce genre; ce sont des pignons satellites, qui se déplacent en roulant sur la roue centrale, en entraînant avec eux le carter et l'ensemble des cylindres dans un mouvement commun de rotation autour de l'arbre fixe, centre du système. Cet arbre porte des cames, dont les bossages sont rencontrés successivement par les fourchettes oscillantes des tiges de soupape. Il n'y a qu'une soupape d'admission et une d'échappement par paire de cylindres. Comme les pignons satellites ont pour diamètre le demi-rayon de la roue centrale, la vitesse de rotation de l'ensemble est égale au quart de celle des plateaux manivelles, soit de 400 tours à la minute pour 1.600. Cette réduction de vitesse constitue un avantage, attendu qu'elle facilite le graissage et permet un accouplement direct de la machine avec les organes à commander.

Nous décrirons plus loin d'autres modèles de moteurs rotatifs (Gnôme monosoupape, Rhône, Clerget-Blin, etc.), qui ont eu un grand succès, dû à un réel mérite, mais dont les aviateurs semblent aujourd'hui moins apprécier les services pour des motifs que nous essaierons de découvrir.

Tous les types que nous venons d'examiner, au point de vue de leur agence-

1. *Le Génie civil*, 1<sup>er</sup> janvier 1910.



ment, présentent le caractère commun de la multiplication des cylindres moteurs de la manière la plus convenable pour en recueillir les fruits. Le premier résultat

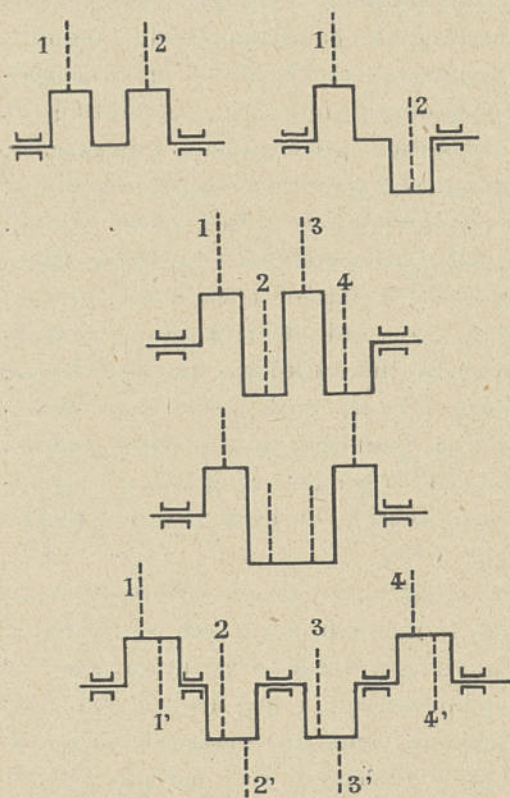


Fig. 288. — Accouplements polycylindriques.

surtout le second temps, qui est celui de la compression. L'inertie du volant entretient à elle seule le mouvement pendant ces phases résistantes : elle doit être considérable, si l'on veut avoir quelque régularité avec un moteur monocylindrique; elle peut être grandement réduite dans les machines polycylindriques, ainsi que nous allons nous en rendre compte.

Considérons d'abord un moteur à deux cylindres.

On est porté à placer les deux manivelles parallèlement l'une à l'autre comme le montre la figure 288, dans sa partie supérieure, auquel cas les temps des deux cylindres se superposent ainsi qu'il suit :

| Premier cylindre.                   | Second cylindre.                    |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| I. — Admission.                     | III. — <i>Explosion et détente.</i> |
| II. — Compression.                  | IV. — Décharge.                     |
| III. — <i>Explosion et détente.</i> | I. — Admission.                     |
| IV. — Décharge.                     | II. — Compression.                  |

Les impulsions motrices s'exercent une par tour, ce qui correspond à une

cherché est un allègement notable : nous avons reconnu qu'il est obtenu. Il en est un autre qu'il nous reste à étudier et à faire ressortir : c'est la régularisation du couple moteur de la machine.

Remarquons d'abord que le moteur à explosion à quatre temps donne, en son troisième temps, une impulsion d'une grande énergie, qu'on a comparée à un coup de masse, dont l'intensité se marque sur le diagramme par une ordonnée très élevée. Il est impossible d'effacer cette pointe sans diminuer l'effet moteur, comme on peut le faire dans une machine à vapeur ou un moteur à combustion; on ne peut qu'en atténuer les conséquences en munissant la machine d'un volant de grande masse. Ce lourd volant est plus encore imposé par le fait que sur les quatre temps, un seul est moteur; les trois autres absorbent du travail,



bonne répartition, mais conduit à un mauvais équilibrage, attendu que les deux pistons marchent dans le même sens.

En décalant les manivelles de 180°, on réalise un meilleur équilibre puisque les pistons marchent en sens inverse, mais les temps moteurs s'exercent sur un même tour, ce qui est peu satisfaisant (fig. 288, partie moyenne).

| Premier cylindre.                   | Second cylindre.                    |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| I. — Admission.                     | IV. — Décharge.                     |
| II. — Compression.                  | I. — Admission.                     |
| III. — <i>Explosion et détente.</i> | II. — Compression.                  |
| IV. — Décharge.                     | III. — <i>Explosion et détente.</i> |

Les deux dispositions se valent.

Voyons ce que l'on peut obtenir avec quatre cylindres.

La figure 288 représente les deux formes de vilebrequins les plus employés. Dans la première combinaison, les manivelles sont au nombre de quatre, décalées de 180° l'une sur l'autre : d'où la répartition des temps d'après l'ordre qui suit.

| Premier cylindre.                   | Deuxième cylindre.                  | Troisième cylindre.                 | Quatrième cylindre.                 |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| I. — Admission.                     | II. — Compression.                  | III. — <i>Explosion et détente.</i> | IV. — Décharge.                     |
| II. — Compression.                  | III. — <i>Explosion et détente.</i> | IV. — Décharge.                     | I. — Admission.                     |
| III. — <i>Explosion et détente.</i> | IV. — Décharge.                     | I. — Admission.                     | II. — Compression.                  |
| IV. — Décharge.                     | I. — Admission.                     | II. — Compression.                  | III. — <i>Explosion et détente.</i> |

Il semblerait que l'on ait mis deux moteurs bicylindriques bout à bout : bonne répartition des effets; les cylindres travaillent dans leur ordre de placement, mais l'équilibrage laisse à désirer. Aussi emploie-t-on de préférence le vilebrequin à 3 coudes, dont le second maneton reçoit deux bielles. Les opérations se succèdent alors dans l'ordre du tableau ci-dessous.

| Premier cylindre.                   | Deuxième cylindre.                  | Troisième cylindre.                 | Quatrième cylindre.                 |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| I. — Admission.                     | II. — Compression.                  | III. — <i>Explosion et détente.</i> | IV. — Décharge.                     |
| IV. — Décharge.                     | I. — Admission.                     | II. — Compression.                  | III. — <i>Explosion et détente.</i> |
| II. — Compression.                  | III. — <i>Explosion et détente.</i> | IV. — Décharge.                     | I. — Admission.                     |
| III. — <i>Explosion et détente.</i> | IV. — Décharge.                     | I. — Admission.                     | II. — Compression.                  |

Les mouvements des pistons sont contraires; chaque demi-révolution a son coup moteur. Je pense que c'est le type le plus généralement employé.

Dans un moteur à 6 cylindres, réductible à un groupement de deux moteurs à 3 cylindres mis bout à bout, avec ou sans retournement de l'un d'eux ou superposés, les manivelles sont décalées de 120°, ce qui constitue une bonne répartition des temps moteurs. La figure 289 représente le vilebrequin le plus



en usage, correspondant au groupement avec retournement. Il y a avantage à régler l'ordre d'allumage de telle façon que l'on fasse travailler consécutivement deux cylindres voisins, de manière à éviter le couple de torsion énergétique auquel l'arbre serait soumis si le cylindre de travail se trouvait à côté de celui qui est en compression.

L'aviation a mis en faveur les 8 cylindres, constitués par deux 4 cylindres, dont les plans de symétrie feraient entre eux un angle de 60 à 90°, les axes des

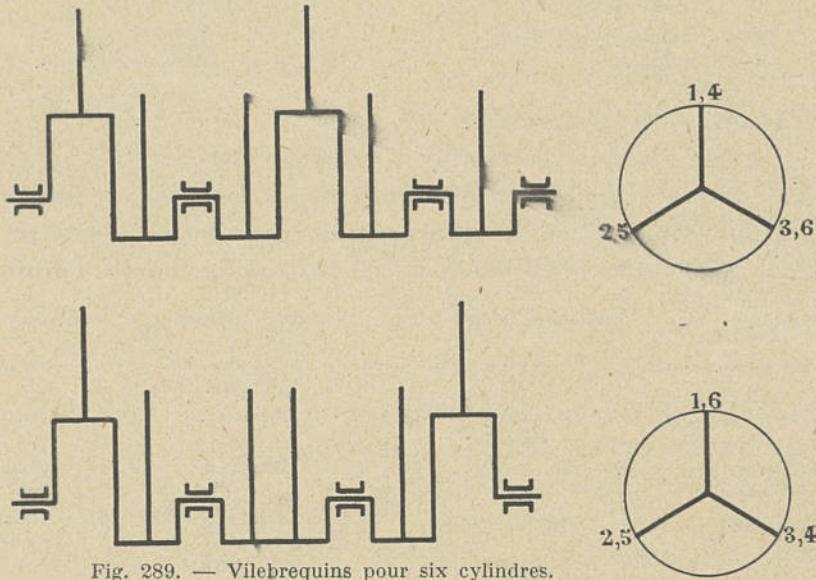


Fig. 289. — Vilebrequins pour six cylindres.

cylindres dessinant un Y; c'est l'agencement représenté sur la figure 288. On assemblerait par le même procédé 12 cylindres.

Il est à remarquer que dans les cylindres en V, chaque maneton est actionné par une paire de bielles; les conditions de calage sont d'ailleurs les mêmes que dans les cylindres en ligne. Pour les 6 cylindres, on forme deux groupes de 3, dont les manivelles sont calées à 120°; pour les 8 cylindres et les 12, le nombre des manivelles est égal à 4 et à 6.

Le 8 cylindres le plus répandu est celui en V à 90°.

Ce qui vient d'être dit s'applique aux moteurs fixes en étoile, en éventail et aux moteurs rotatifs, et permet de calculer leurs couples moteurs. Ce calcul est simple et aisé, si l'on néglige les effets d'inertie et lorsqu'on ne tient pas compte de l'obliquité de la bielle. Dans ce cas, on admet que la force AQ reste égale à AP (fig. 290); le couple actif est donné par le produit de la force MT par le rayon OM de la manivelle; MT est la projection de MQ', égal à MQ, sur la tangente à la manivelle. Comme le rayon OM est une constante, il n'y a pas à s'en occuper dans l'étude des variations du couple (1).

1. Voir sur ces questions : *Moteurs d'aviation et de dirigeables*, par M. H. André; Geisler, éditeur, Paris, 1910; page 49 et suivantes.



Pour figurer le couple en un point quelconque M (fig. 291), on prolonge donc le rayon OM d'une longueur MB égale à MT. On tracera la courbe des couples pour un cycle en développant la circonférence OA, et en portant en ordonnées les valeurs MB. C'est ainsi qu'a été obtenu le diagramme des couples de la figure 292, pour un moteur monocylindrique, en partant du diagramme des

pressions du gaz dans un moteur à un seul cylindre : les quatre tronçons I, II, III et IV correspondent aux quatre temps ; le tronçon III seul donne **une valeur positive** du couple. L'existence de trois phases inactives impose l'emploi d'un lourd volant.

La figure 293 donne le diagramme d'un moteur à 4 cylindres : la régularité est beaucoup plus grande, et seule la partie BC se trouve en dessous de la ligne  $xx'$  et témoigne d'une valeur négative. Sur la fin de la

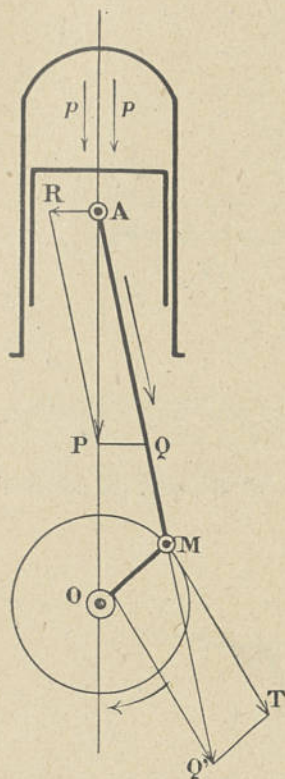


Fig. 290. — Schéma des couples.

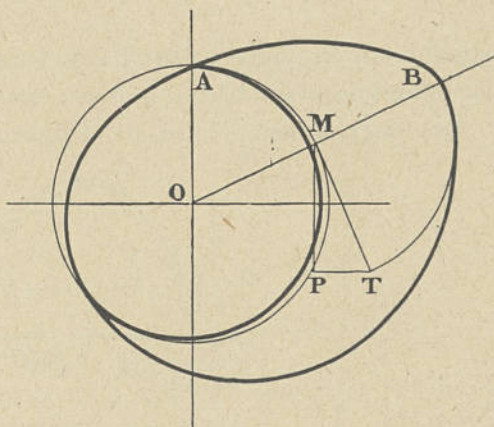


Fig. 291. — Tracé des couples.

révolution, l'ensemble des résistances passives de l'aspiration, de la compression et de l'échappement l'emporte sur la puissance décroissante développée par la détente, consécutive de l'explosion.

Pour un 6 et 8 cylindres, la régularité est excellente : il n'y a plus de partie négative et l'emploi d'un volant, déjà très allégé, n'est même plus nécessaire.

M. André a comparé tous ces diagrammes en les reportant sur un même tracé, dont la figure 294 est la reproduction. On a tracé à une échelle quelconque la courbe des couples d'un 2 cylindres (courbe II), dont la valeur moyenne correspond à la ligne  $mm'$  parallèle à l'axe des abscisses. Une réduction d'échelle convenable, attribuant à la courbe III d'un 3 cylindres la même valeur moyenne, puis aux courbes IV, VI et VIII, on se rend compte aisément et d'un coup d'œil de leur mérite relatif. On peut mesurer sur ce graphique les écarts maximum et minimum de la courbe moyenne pour chaque type de moteur polycylindrique.



Le 6 cylindres est supérieur au 3 cylindres : le 6 est meilleur encore, le 8 ne le dépasse guère. Pour un 4 cylindres, le couple s'annule encore deux fois par tour

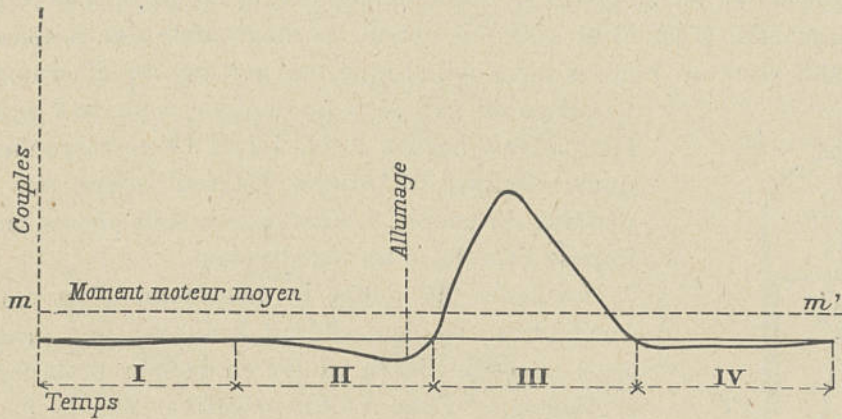


Fig. 292. — Graphique d'un monocylindrique.

de manivelle en passant deux fois par un maximum explosif; pour un 8 cylindres, il ne s'annule plus et l'on constate quatre maximums.

Les diagrammes polaires de la figure 295 compléteront cet exposé. La courbe

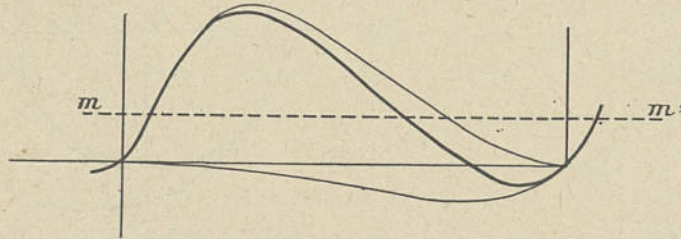


Fig. 293. — Couples d'un quatre cylindres.

du 4 cylindres affecte la forme d'un 8 en chiffre, à double boucle; son aire n'occupe guère que le quart du tableau. Au contraire, la courbe du 8 cylindres donne une courbe fermée continue, symétrique dans chaque quadrant par rapport au pôle origine, de puissance 0.

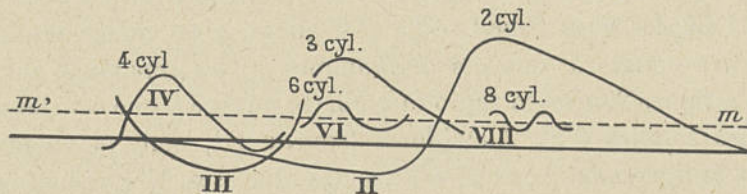


Fig. 294. — Couples comparés.

La régularité atteinte dans les machines polycylindriques a grandement contribué à l'allégement des moteurs, en diminuant les chocs et les vibrations



de leurs organes et en développant des efforts continus, sans à-coups, ce qui a dispensé de leur donner une résistance exagérée. Cette régularité a pris, d'autre

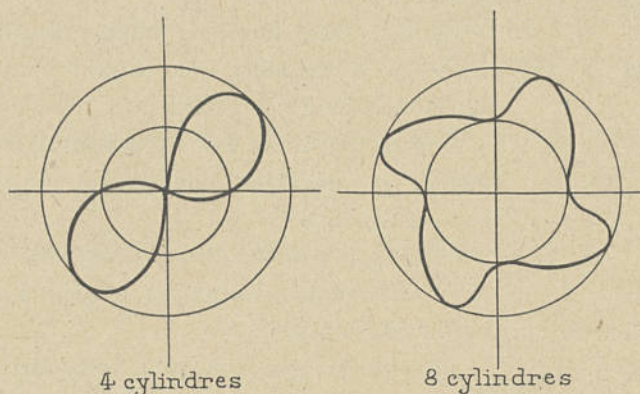


Fig. 295. — Diagrammes polaires de régularité.

part, une grande importance, quand on a appliqué les moteurs à explosion à la propulsion des véhicules de toute nature, qui requéraient des conditions nouvelles de stabilité et d'équilibre.

### III

#### L'ÉQUILIBRAGE DES MOTEURS

Les explosions vives, qui se succèdent dans les cylindres, donnent lieu à des réactions obliques sur l'axe des moteurs verticaux, qui agissent alternativement de part et d'autre de leur arbre; il naît aussi des réactions latérales, tendant à renverser les cylindres, en sens inverse de la rotation de l'arbre; il en résulte des actions diverses qui troublent l'équilibre de l'ensemble constitué par les propulseurs et les châssis qui les portent. Ajoutons à ces effets ceux qui proviennent des mouvements de rotation et les déplacements alternatifs d'organes possédant une masse relative assez considérable; ils provoquent des flexions, des torsions, des vibrations plus ou moins rythmées, dont l'amplitude peut devenir considérable dans des machines puissantes, marchant à vive allure, et qui nuisent non seulement aux moteurs eux-mêmes, mais encore au véhicule qui les porte. *A priori*, on se rend compte que des machines en V ou en étoile, et les moteurs rayonnants, dans lesquels les explosions sont équidistantes et où la direction des efforts tourne avec l'arbre lui-même, possèdent des qualités exceptionnelles, qui justifient la faveur dont ils continuent de jouir dans l'opinion commune des aviateurs.



Ces phénomènes jouent un si grand rôle dans les diverses applications des moteurs légers, surtout en aviation, qu'il est nécessaire que nous en fassions une étude complète et détaillée.

Nous classerons en deux catégories les forces variables auxquelles est soumise une machine en fonctionnement :

1° Les réactions des efforts moteurs et résistants, positifs et négatifs, concourant au développement de la puissance;

2° Les forces d'inertie, dues aux masses animées de mouvements circulaires continus ou de mouvements alternatifs.

Inutile de dire que nous considérons uniquement les effets produits dans un moteur réglé, fonctionnant dans les meilleures conditions théoriques et pratiques : nous écartons délibérément les effets de perturbation que produisent les variations anormales des forces.

Cela posé, étudions en premier lieu les réactions qui proviennent des poussées exercées sur le maneton.

Considérons d'abord l'impulsion motrice produite au troisième temps d'explosion et de détente.

La force  $P$  (fig. 296), qui fait avancer le piston, se décompose en deux autres, l'une  $F$ , dirigée suivant la bielle et transmise au maneton, l'autre  $R$  normale à l'axe du cylindre. Elles peuvent se remplacer par les forces respectivement égales,  $F'$  et  $R'$ , transportées au centre  $O$  de l'arbre, et par les deux couples  $F \times OB$  et  $R \times OA$ , de sens contraire. Or, les deux forces  $F'$  et  $R'$  ont une composante  $P'$  égale à  $P$ , qui est équilibrée par la force exercée sur le fond du cylindre, dirigée suivant son axe et transmise en  $O$  par le bâti. Il ne reste donc à considérer que les couples. Ils sont égaux; en effet, les triangles  $OBA$  et  $FPA$  sont semblables, et donnent :

$$\frac{R}{F} = \frac{OB}{OA}$$

d'où l'on a :

$$F \times OB = R \times OA.$$

On a donc un couple moteur et un couple de réaction; ce dernier sollicite la machine à tourner en sens inverse de la rotation du vilebrequin.

Si le moment  $F \times OB$  restait constant, le moment de réaction le serait aussi, et il ne se produirait pas de trépidations : mais il n'en est point ainsi dans les moteurs à quatre temps. Le moment moteur varie à tout instant,

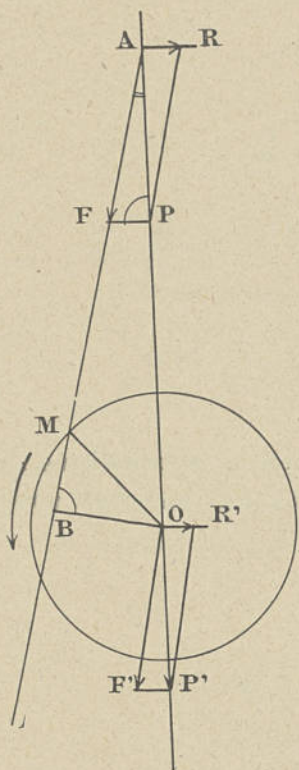


Fig. 296.  
Efforts moteurs et résistants.



donnant lieu à des réactions, non seulement en course motrice du troisième temps, mais aux trois autres courses, alors que le système absorbe du travail au lieu d'en fournir. Toutefois, cet effet est peu considérable dans un 4 cylindres ainsi que nous venons de le démontrer, et il est insensible dans les 6 et 8 cylindres. La multiplication des cylindres contribue donc considérablement à l'équilibrage.

Passons à l'examen des forces d'inertie.

On donne le nom de force d'inertie au vecteur  $F = mj$ , produit de la masse  $m = \frac{P}{g}$  du mobile par l'accélération  $j$  de sa vitesse : il y a équivalence entre ce produit  $mj$  et la résultante des forces extérieures appliquées au système; un

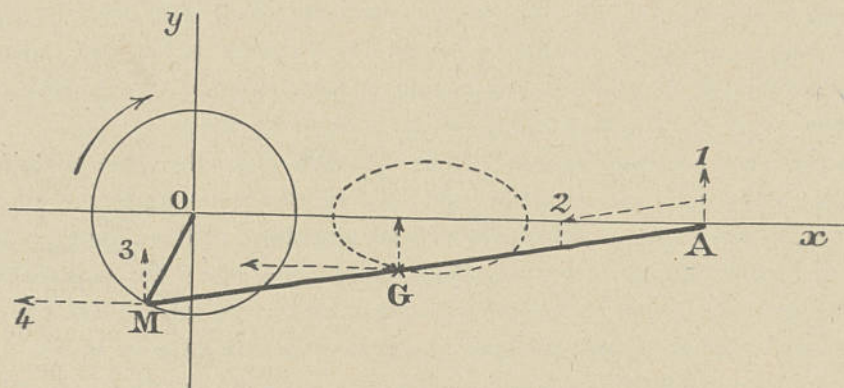


Fig. 297. — Effets d'inertie de la bielle.

obstacle au mouvement subit de la part du corps en mouvement une poussée équivalente au produit  $mj$ . L'étude des phénomènes d'inertie se ramène à celle de l'accélération  $j$ .

Commençons par les forces d'inertie provenant du piston, de masse  $m$ . L'effort, agissant sur son centre de gravité, peut se remplacer, comme nous l'avons fait précédemment, par une force  $P_1$ , appliquée en O, qui dans ce cas n'est plus équilibrée par une pression égale sur le fond du cylindre, et par deux couples  $F_1 \times OB$  et  $R_1 \times OA$ ; le premier agit sur le vilebrequin et constitue un couple moteur, l'autre agit sur le bâti, en couple de réaction, ainsi que  $P_1$ . En somme, nous avons une réaction variable, appliquée en O, suivant l'axe du cylindre, un couple moteur et un couple de réaction.

L'ensemble du moteur est entraîné dans un mouvement tantôt du sens de celui du piston, tantôt de sens opposé. Il en résulte des réactions horizontales et verticales dans un moteur placé verticalement sur un châssis d'auto; les secondes font fléchir et tendent continuellement les ressorts de la voiture.

Les réactions dues aux mouvements des comes et des soupapes sont négligeables.

Les effets d'inertie provenant de la bielle sont plus complexes et plus difficiles à déterminer : son centre de gravité décrit un ovale, qui a pour grand axe



la course du pied de bielle; sa forme résulte du mouvement pendulaire de la bielle et de son mouvement de translation; la force d'inertie est dirigée suivant la tangente à cette courbe. Prenons pour sujet de nos raisonnements un moteur horizontal, figure 297, et désignons par  $j_x$  l'accélération parallèle à l'axe des  $x$  et  $j_y$  celle qui est parallèle à l'axe des  $y$ . Les forces qui sollicitent le centre de gravité G seront  $mj_x$  et  $mj_y$  : ces forces peuvent être remplacées par des forces appliquées en A et en M, indiquées sur notre épure, que nous numérotions 1 et 2, 3 et 4. La force 1 donne naissance à un couple de réaction et à une réaction selon l'axe des  $y$ ; la force 2, un couple moteur et un couple de réaction, et de plus une réaction non équilibrée; la force 3, une réaction selon l'axe des  $y$  et un couple moteur; enfin, la force 4, une réaction selon l'axe des  $x$  et un couple moteur. En définitive, la résultante des efforts d'inertie de la bielle fournit deux couples moteurs et de réaction par inertie, et deux réactions d'intensité variable, appliquées en O et dirigées suivant les axes des  $x$  et des  $y$ .

Il nous reste à considérer les efforts d'inertie dus à la force centrifuge des masses animées d'un mouvement que nous supposons uniforme et continu. Une masse  $m$ , de poids  $p$ , ayant une vitesse angulaire  $\omega$ , développe en tournant autour d'un axe  $xx'$  une force centrifuge égale à  $m\omega^2 r$ ,  $r$  étant la distance de la masse à l'axe; cette force s'exerce suivant le rayon de giration et elle peut se décomposer en deux autres, dirigées parallèlement aux axes  $ox$  et  $oy$ .

On voit, en définitive, que l'inertie des organes produit des réactions, appliquées au point d'intersection de l'axe du cylindre et de l'axe du vilebrequin, dirigées suivant l'axe du cylindre et perpendiculairement au plan des deux axes susdits, et d'intensité variable à tout instant. Il faut s'efforcer de les diminuer, attendu que le bâti du moteur a une tendance au déplacement, qui agit sur le cadre du véhicule et occasionne des trépidations déplaisantes, sinon nuisibles (1).

Passons en revue les divers procédés auxquels on recourt le plus communément pour réaliser un certain équilibrage.

Toutefois, avant de nous engager dans cette étude complexe et difficile, établissons une distinction dont l'utilité ne tardera pas à nous être dévoilée. Dans une première approximation, on suppose les bielles d'une longueur infinie, et l'on admet qu'elles sont toujours parallèles à l'axe du cylindre : les forces d'inertie considérées dans cette hypothèse sont dites *de premier ordre*. Mais ces forces d'inertie ne sont pas les forces réelles : la différence entre les forces réelles et les premières constitue ce que l'on est convenu d'appeler les forces d'inertie *de second ordre*.

Pour équilibrer un moteur, il faudrait rendre son couple moteur régulier et annuler les résultantes des actions d'inertie et les forces centrifuges : on y arrive dans une certaine mesure.

1. On les réduit en cherchant l'emplacement le plus favorable à cet égard du moteur dans la voiture; cette considération ne peut être développée ici; elle présente une certaine importance dans l'espèce.



Pour ce qui est des variations du couple moteur, une machine monocylindrique n'est nullement équilibrée, mais une machine à deux cylindres diamétralement opposés, ayant ses deux pistons sur le même axe, peut l'être complètement en théorie, si les plans de rotation des deux manivelles sont confondus. En plaçant les deux pistons dans un même cylindre, commandant deux arbres tournant en sens inverse l'un de l'autre, on peut obtenir un équilibre parfait : en effet, la figure 298 montre que les contrepoids C peuvent avoir une résultante centrifuge égale et directement opposée à celle des forces F et R.

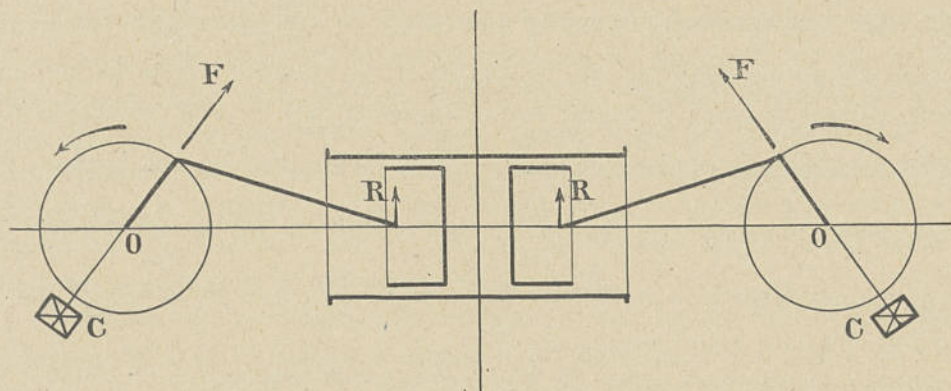


Fig. 298. — Moteurs à pistons opposés.

Dans un deux cylindres, en V, manivelles calées à  $180^\circ$ , l'équilibre est d'autant meilleur que les axes sont moins inclinés l'un sur l'autre.

Une remarquable étude de M. Crozet, sur ces questions d'équilibrage (1), l'a conduit à d'autres solutions du problème.

Il fait remarquer que, dans le cas de la disposition de la figure 298, il est nécessaire que les deux arbres soient solidaires, pour que le moteur ne se dérègle pas, que les mouvements d'inertie des volants restent égaux et que les arbres soient portés par un même bâti. A son avis, on réalise les meilleures conditions d'équilibre en juxtaposant deux cylindres au-dessus de deux arbres moteurs identiques disposés parallèlement et tournant en sens inverse, avec deux volants dont les moments d'inertie ont la même valeur. Les arbres moteurs sont solidarisés par un ensemble de roues dentées et de pignons, l'une des roues pouvant être utilisée pour la distribution. Pour qu'un tel moteur soit mathématiquement équilibré, il n'y a qu'à annuler une force provenant des réactions d'inertie du piston et de la bielle, et dirigée suivant l'axe de symétrie des deux cylindres : c'est encore une question de contrepoids.

Un deux cylindres parallèles, manivelles calées à  $180^\circ$ , n'est point équilibré; les forces centrifuges des pièces en mouvement dans des plans différents et les réactions des pistons sur les cylindres font osciller le moteur autour

1. *Etude sur les efforts qui font naître les trépidations dans les voitures automobiles à pétrole*, par F. Crozet; Lyon, 1897, Rey, éditeur. Ce travail, très fouillé, présente un vif intérêt.



du milieu de l'axe de l'arbre. Mais pour un quatre cylindres, la résultante des forces d'inertie du premier ordre est nulle ainsi que le couple résultant de cet ordre; par contre, la résultante des forces d'inertie du deuxième ordre n'est pas nulle; le couple résultant de ce second ordre est nul.

Les six cylindres, dont le couple moteur est très régulier, annulent les résultantes des forces et des couples d'inertie du deuxième ordre, lorsque le vilebrequin présente une symétrie par rapport à son plan médian.

Dans les moteurs en étoile ayant leurs  $n$  cylindres dans le même plan, formant entre eux des angles égaux, d'une valeur de  $\frac{360^\circ}{n}$ , toutes les bielles sont montées sur un maneton unique; la résultante des forces d'inertie est une force unique, dirigée suivant le rayon de la manivelle, ayant pour valeur celle de l'inertie centrifuge d'une masse égale à  $\frac{n}{2}$  fois la masse d'un des pistons. Soit  $m$  cette masse : la résultante est  $\frac{n}{2}m^2r$ . On l'équilibrera par un contrepoids diamétralement opposé à la manivelle et de masse  $\frac{mn}{2}$ , dont le centre de gravité est à une distance  $r$  de l'axe.

Quand le moteur est formé de deux groupes de 5 cylindres en étoile (type Anzani), l'angle formé par les axes de deux cylindres consécutifs d'un même groupe est de  $\frac{360}{5} = 72^\circ$ , et l'on a pour les deux groupes  $36^\circ$  d'un cylindre à l'autre. Chaque groupe attaque un maneton d'un double coudé à  $180^\circ$

(fig. 299) : même résultante  $R$  des forces d'inertie pour les deux groupes. En marche, le système est soumis à l'action du couple  $Rx$ , d'autant plus grand que  $x$  et  $\omega$  sont plus grands : on annule ces effets par les deux contrepoids  $p$ , avec la condition  $pX = Rx$ , suffisante pour éviter tout mouvement de tangage.

Nous voyons le rôle joué par les contrepoids dans ces divers systèmes.

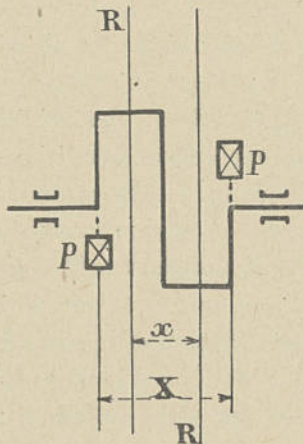


Fig. 299. — Équilibre d'un double coudé à cinq cylindres.

Une formule pratique est en usage pour équilibrer en bloc les poids du maneton, des deux manivelles, de la bielle, du piston et de tous ses accessoires. Désignons par  $S$  le poids total de tous ces organes, mais en ne prenant que la moitié du poids de la bielle, par  $C$  la course du piston, en mètres, par  $r$  le rayon du cercle décrit par le centre de gravité des deux contrepoids; le poids  $Q$  de ces deux contrepoids sera en kilogrammes égal à  $0,7 \times \frac{cS}{2r}$ .



Dans les moteurs rotatifs, il n'y a presque plus de pièces animées d'un mouvement alternatif, mais les forces centrifuges prennent une importance considérable, étant donnée surtout l'énorme vitesse circonférentielle des organes qui tournent autour de l'axe : celle-ci peut dépasser à la périphérie une soixantaine de mètres à la seconde. Admettons un équilibrage complet des cylindres et du carter : leur rotation ne produit aucun effort sur l'arbre. Mais les pistons et les bielles tournent autour d'un maneton fixe excentré par rapport à l'axe de l'arbre ; leur centre de gravité ne se trouve donc pas sur leur axe de rotation, et leurs vitesses varient à tout instant ; il en résulte des forces d'inertie de signes différents, d'où, pour chacun d'eux, une composante centrifuge axiale et une autre tangentielle. La première est variable, car les angles formés par les bielles entre elles ne sont pas égaux et leur obliquité change elle-même. La seconde varie avec la vitesse du piston, passant comme l'autre par un maximum simultané, mais de sens opposé, ce qui permet d'admettre qu'elles s'équilibrent. L'une agit sur le maneton alors que l'autre s'exerce sur l'axe, d'où un couple engendrant des flexions, dont il faut se préoccuper, car le vilebrequin doit résister, en outre, aux efforts dus à l'explosion (1).

La différence des vitesses des pistons et des bielles fait naître dans les cylindres des accélérations qui appuient le piston sur les génératrices du plan de rotation et donnent lieu à des forces de frottement considérables ; c'est une difficulté, étrangère peut-être à la question que nous traitons, mais qu'il fallait signaler ici.

A tout prendre, si l'on ne considère que les effets d'inertie, les moteurs rotatifs présentent de précieuses qualités, qu'ils doivent à l'absence de forces d'inertie alternatives : nous ne ferons pas état de la suppression du volant, attendu qu'à partir de six cylindres les polycylindriques peuvent eux-mêmes s'en passer.

Il nous resterait un mot à dire des vibrations causées par les forces d'inertie et par les pressions explosives : elles sont gênantes et peuvent compromettre la sécurité du fonctionnement, attendu qu'elles dénaturent à la longue les métaux en modifiant leur structure cristalline ; on les atténue par les moyens d'équilibrage que nous avons étudiés, mais il est toujours à conseiller d'interposer, entre le moteur et le châssis, du bois, du caoutchouc ou tout autre corps possédant un grand coefficient d'amortissement. Il est à remarquer que les pièces légères vibrent plus fort que les pièces lourdes : l'allègement excessif trouverait ainsi une contre-indication. Voici d'ailleurs un fait d'observation :

1. Dans leur excellent ouvrage sur les moteurs d'aviation, MM. Taris et Berthier font observer que les bielles des moteurs rotatifs travaillent le plus souvent à la traction, sauf au moment de l'explosion. Admettons que celle-ci donne 15 kilogrammes par centimètre carré, soit 1.500 kilogrammes sur un piston de 100 centimètres carrés de section ; à 1.200 tours, la bielle et le piston pesant 1 kg. 5 pour une distance de 25 centimètres du coude, on a une force centrifuge égale à :

$$\frac{1,5}{g} \times \left( \frac{2 \pi \cdot 1200}{60} \right)^2 \cdot 0,25 = \frac{1,5}{g} 1600 \pi^2 \times 0,25 = 600 \text{ k. environ.}$$



une hélice, actionnée par un moteur fixe, est soumise à de plus fortes vibrations que celle qui est montée sur un moteur rotatif; l'explication du phénomène est sujette à discussion.

Ajoutons qu'il ne faut pas seulement équilibrer les moteurs, mais encore les hélices et les ventilateurs; ces derniers ont quelquefois été accusés à tort par les aviateurs.

Le long exposé que nous venons de faire permet d'apprécier l'admirable chemin qui a été parcouru en peu d'années : les moteurs à essence d'autos et d'avions sont aujourd'hui bien près de la perfection aux multiples points de vue de la légèreté, de la régularité, de l'endurance, de l'équilibrage, sans préjudice du rendement. A cet égard, les machines ne laissent plus grand'chose à désirer, attendu qu'on a déjà mesuré des rendements effectifs de 32 %, avec des compressions qui ne dépassent pas 5,5 en mesures volumétriques. On peut espérer sans doute que l'emploi de carbures à haute température d'inflammation, tels que ceux de la série aromatique (benzène, toluène, xylène, etc.) permettra d'augmenter la compression sans s'exposer aux auto-allumages, qui obligent de la limiter. En raison de leur faible pouvoir calorifique, on devra additionner ceux-ci d'essence, mais cela suffira pour permettre de porter la compression à 7, d'où résulteront des pressions moyennes au diagramme de 9 kilogrammes et des rendements voisins de 34 %. Un autre procédé pourra conduire à des résultats du même ordre : il consistera à introduire dans le mélange tonnant des gaz inertes, CO<sup>2</sup> et Az, prélevés sur l'échappement; d'après certains calculs, cette pratique pourrait conduire les rendements à 36 ou 37 %; acceptons-en l'auguré.

Un autre perfectionnement, d'ordre plus économique que technique, est aussi à l'étude, c'est l'emploi du pétrole lampant; on a déjà réussi à utiliser des essences relativement plus lourdes, de densité égale à 0,76, mais il y a mieux à faire. Nous avons traité cette intéressante question ci-dessus (1), et en avons exposé les difficultés pratiques. Le réchauffement des carburateurs a été essayé avec plus ou moins de succès, mais ce procédé réduit considérablement la masse de la cylindrée (quelquefois de 20 %) et il met obstacle aux fortes compressions; de plus, il se produit dans les conduites et jusque dans les cylindres des condensations, sous forme de gouttelettes de produits lourds, qui nuisent au fonctionnement et conduisent à la longue à des dépôts solides dans les cylindres et à des détériorations des carters. Peut-être l'usage de certains pétroles, plus riches en hydrocarbures aromatiques, éviterait ces inconvénients, ainsi que nous l'avons déjà dit, mais on ne pourra se prononcer sur ce point qu'à la suite d'essais prolongés.

On a cru, à un moment donné, que la substitution des moteurs à combustion avec moteurs à explosion donnerait une solution à cet intéressant problème;

1. *Vide supra*, pages 21, 299 et 297; voir aussi, tome I, pages 161 et 194.



mais, ici encore, il a fallu déchanter. Le Diesel actuel n'est pas encore adapté aux voitures et aux avions, et c'est grand dommage, car il permettrait de supprimer le carburateur et la magnéto d'allumage et marcherait avec n'importe quelle huile combustible, dans des conditions économiques remarquables à tous égards : ce serait un progrès. Malheureusement, il faut au Diesel tout un cortège de compresseurs, de pompes et de réservoirs, qui l'alourdissent énormément; je ne crois pas qu'on puisse jamais faire tomber son poids spécifique en dessous de 14 kilogrammes par cheval effectif. On nous dit, il est vrai, que la faible consommation rachètera leur excès de masse dans les longues randonnées que feront à l'avenir les navires aériens : c'est vrai, mais il ne faut pas exagérer cet argument. Voici, en effet, où en sont les consommations relatives des moteurs à combustion : le Diesel dépense de 180 à 200 grammes d'huile lourde; les derniers moteurs à essence ont réduit leur consommation à 200 ou 220 grammes d'essence; l'écart est moindre qu'on ne le croit. L'avantage est surtout d'ordre économique, lequel importe assez peu dans l'espèce. Et l'on paraît oublier que le Diesel ne possédera pas de longtemps la souplesse, la maniabilité et les qualités d'endurance des moteurs à essence qui permettent les longs vols à toute puissance et à toute altitude.

Si le Diesel ou le Semi-Diesel doit un jour concurrencer sérieusement le moteur à quatre temps à essence, ce sera sur les automobiles, où la question de poids spécifique passe au second plan; or, les tentatives faites à ce jour n'ont abouti à des résultats favorables que sur des camions et cette adaptation ne s'est point généralisée.

En dirigeables, le poids des moteurs n'a pas l'importance qu'il présente en aéroplanes et il se pourrait dès lors que l'application des Diesel débutât sur les grands vaisseaux aériens. On étudie en ce moment des croiseurs transatlantiques, devant porter une trentaine de tonnes de Paris à New-York en quatre jours; leur nom était trouvé avant qu'on les eût construits : ce sont des super-Zeppelins. Sur leurs moteurs de près de 2.000 chevaux, tournant sans arrêter une centaine d'heures, on pourra réaliser une économie de 15 à 20 tonnes de combustible, qui fera pardonner à la machine motrice son excédent de poids.

Pour ce qui est des aéroplanes, on a rarement encore atteint une puissance de 1.800 chevaux; mais on a conçu, au cours de la guerre, le projet d'établir des oiseaux géants, à squelette métallique, dans lesquels le duralumine remplacera le bois, dont l'envergure atteindra 40 mètres, dont la charge totale par cheval de puissance dépassera ce qui aura été osé jusqu'ici, véritables cargos, marine marchande de l'air, appelés à desservir avec une rapidité prodigieuse de longues lignes aériennes.

Ce sera l'œuvre de demain.

Mais pourquoi escompter l'avenir, alors que le présent est déjà si extraordinaire. Des machines motrices puissantes, approvisionnées pour de longues



heures (on vient de réaliser le record de 96 h. 18 m.) (1), d'un fonctionnement sûr et impeccable, transportent nos pilotes au sein des nues, par-dessus les montagnes, les déserts et les mers, en leur assurant une sécurité presque absolue. Est-ce un triomphe de l'appareil ailé ou bien du moteur qui l'anime? On a jalousement discuté la part de succès qui revient à l'un et à l'autre : notre admiration est égale pour l'un et pour l'autre. Mais il faut bien reconnaître que, sans moteurs ultra-légers, l'aviation n'existerait pas : or, ces moteurs sont à essence, et ce type de machine est resté jusqu'à cette heure sans rival.

#### IV

### MONOGRAPHIE DES MOTEURS

Les moteurs légers et ultra-légers que l'on construit aujourd'hui sont en nombre si considérable qu'il nous faut renoncer à les mentionner et encore moins à les décrire tous : MM. Taris et Berthier en citent 67; leur énumération faite en 1910 était loin d'être complète, et ils se limitaient aux machines spécialement destinées à l'aviation (2). Depuis la guerre, cette branche de la mécanique s'est encore développée. Nous serons obligé de faire un choix entre les modèles les plus en faveur, et de réduire les indications que nous avons pu recueillir (non sans peine) aux traits les plus caractéristiques des moteurs et à leurs particularités les plus individuelles et les plus originales.

Nous confondrons les monographies des machines des autos de ville, de tourisme et de course, des camions, camionnettes et tracteurs, des canots et des chaloupes de commerce, des dirigeables, des avions de chasse, de bombardement et de transport : ces moteurs ont leurs caractéristiques spéciales, mais ne diffèrent pas essentiellement les uns des autres : la plupart des constructeurs sont du reste adonnés à l'établissement de modèles divers.

Le moteur d'aviation sur lequel l'attention se porte surtout en ce moment est un moteur d'auto très étudié en vue de son application spéciale, qu'on s'efforce d'alléger au possible, sans rien sacrifier de ses qualités de puissance, de robustesse et de rendement. On lui demande d'être toujours prêt à partir, de ne jamais se fatiguer et de ne jamais refuser son service. Ces conditions sont celles qu'on impose aux moteurs d'autos, mais on les exige d'eux moins impérieusement : toutefois, ce n'est qu'une question de qualité, et l'on peut dire que le moteur d'aviation est un moteur d'auto perfectionné.

Il a besoin d'être plus parfait pour de nombreuses raisons, dont la princi-

1. Ce record a été établi par l'Américain Stillson, le 21 décembre 1921; il est déjà dépassé.

2. *Les moteurs d'aviation*, ouvrage déjà cité.



pale est assurément la sécurité qu'il convient de garantir au voyageur de l'air; mais il en est qui ressortent tout particulièrement de la technique même du vol.

Et d'abord, un moteur d'auto ne développe que momentanément sa pleine puissance, tandis qu'un moteur d'avion peut être amené à travailler, sinon constamment, du moins très longtemps, à sa charge maximum : il doit donc être bâti en conséquence. A cet égard, le refroidissement de son cylindre a besoin d'être maintenu d'une façon plus certaine, soit par une circulation d'eau, soit plutôt par une garniture d'ailettes de grande surface, fortement rafraichies par une énergique ventilation; de plus, le graissage du cylindre et

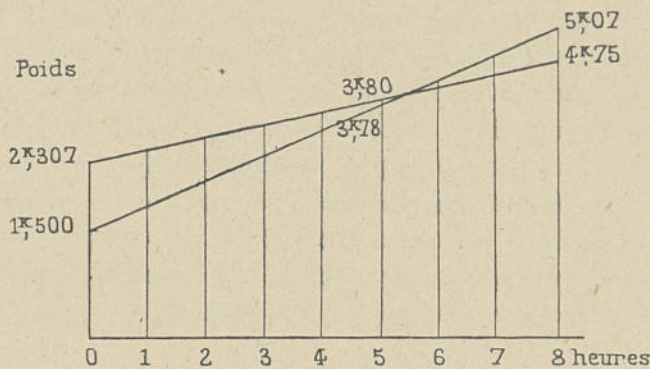


Fig. 300. — Courbe des poids-heures.

de tous les organes devra être extrêmement énergique; tout cela est nécessaire pour que le moteur possède une endurance, qui ne trahisse jamais son conducteur. En auto, une panne est un ennui; en avion, une panne peut devenir une catastrophe.

La consommation d'essence intéresse sur la route comme dans les airs, mais ici il ne s'agit plus seulement d'une question d'économie, car le fonctionnement de l'aéroplane est en jeu. Un touriste s'en préoccupe médiocrement et un camionneur guère davantage : ce n'est qu'une question d'argent et l'on dit qu'elles ne sont point mortelles. Pour l'aviateur, il n'en est plus de même, car il emporte avec lui une provision d'essence pour de longues heures et cette provision lui pèse.

Un moteur relativement léger par lui-même, mais consommant beaucoup d'essence et d'huile de graissage, perd bientôt les avantages qu'il possédait à cet égard sur un moteur plus lourd, mais plus économique, ainsi qu'en témoignent les courbes de la figure 300 : on y a porté en abscisse les heures de sortie et en ordonnée les poids totaux, en y comprenant le poids des provisions prévues pour un vol d'une durée déterminée. On voit que la relation des poids s'inverse avec cette durée. Si l'on n'envisage au départ qu'une heure de vol, le



poids est de 1 kg. 34 contre 2 kg. 60 par cheval; mais pour un raid de huit heures, le premier pèse 5 kg. 07 et le second 4 kg. 75 (1).

Le carburateur est plus énergiquement mis en cause en aviation qu'en circulation sur route; il faut qu'à toute altitude et par toute température il permette au moteur de développer son maximum de puissance à la demande du pilote. Le conducteur d'auto a toujours la ressource, quand sa machine faiblit, en montée ou autrement, de changer de vitesse; en pareil cas, l'aviateur se voit obligé d'atterrir et il risque alors un accident, s'il ne trouve aussitôt un terrain propice à proximité.

Il faut remarquer de plus que l'aéroplane se conduit par divers moyens mécaniques dont l'étude ne peut être faite ici, mais qui entraînent une variation de puissance propulsive, à laquelle le système carburateur-moteur doit se prêter aisément. En effet, pour parer aux effets des remous de l'atmosphère, on est souvent amené à assurer la constance de la vitesse de sustentation en maintenant la constance de la puissance et en agissant en même temps sur le gouvernail de profondeur; mais on peut aussi caler celui-ci pour rendre constant l'angle minimum d'attaque et compenser les variations de vitesse par des variations de puissance. Dans les deux hypothèses, il faut que le conducteur de l'aéronef ait son moteur en main, de manière à lui faire développer à tout instant le travail exigé par les circonstances : cela suppose une souplesse très grande du moteur.

L'équilibrage des mécanismes moteurs contribue à la stabilité de l'avion dans l'air et il a besoin d'être réalisé plus complètement que pour les voitures auxquelles les forces d'inertie non compensées infligent, il est vrai, des vibrations plus ou moins déplaisantes, mais non dangereuses.

On ne s'étonnera donc pas que nous accordions une attention plus spéciale aux moteurs d'aviation dans les descriptions qui suivent : c'est sur eux que se porte plus directement aujourd'hui l'intérêt des spécialistes.

L'ordre suivi dans nos monographies n'est pas chronologique et il n'a même pas la prétention d'être toujours très logique; il n'est certainement, point établi suivant l'ordre de mérite, mais je me suis efforcé de le rendre plus ou moins systématique en groupant ensemble les cylindres en ligne, en V, en étoile ou en éventail, les cylindres à deux pistons et les rotatifs.

On y trouvera quelques modèles abandonnés et disparus; ils ont droit à une mention pour les services qu'ils ont rendus. Il n'est pas dit d'ailleurs qu'on n'y reviendra pas (2).

1. Cette courbe a été tracée par M. Esnault-Pelterie; le premier moteur était un rotatif Gnome, le second était de son système. Voir *Bulletin des Ingénieurs civils*, avril 1912.

2. On nous pardonnera de n'avoir pas connu toujours les derniers types adoptés par les divers constructeurs.



### 1. Moteur Wright.

Ce moteur a permis les premiers vols de longue durée en Europe, le 31 décembre 1908, au camp d'Auvours, et nous lui devons à ce titre une place en tête de nos monographies, alors même qu'il soit d'un type ancien et suranné : on vieillit vite dans ce domaine !

Les célèbres Américains tinrent secrets les détails de construction de leur machine, du moins au début : c'était un 4 cylindres verticaux, en ligne, de 112 d'alésage et 0 m. 100 de course, du type ordinaire, à refroidissement par circulation d'eau, pesant 90 kilogrammes pour une puissance de 30 chevaux environ. Il portait encore une soupape d'admission automatique.

Il présentait une particularité dans son alimentation en air carburé : en effet, le carburateur a été supprimé et remplacé par un système d'injection directe de l'essence au-dessus des soupapes d'admission par une pompe unique; le liquide est projeté dans une tubulure précédant le collecteur d'alimentation des cylindres. On évitait de noyer les cylindres, en dirigeant vers le bas la tubulure de prise d'air; on s'exposait à perdre un peu d'essence quand elle arrivait en excès, mais les Américains n'y regardaient alors pas de si près. La répartition du carbure se faisait entre les quatre cylindres tant bien que mal; on réglait au mieux le débit de la pompe.

Ce moyen de carburation donna de meilleurs résultats qu'on n'aurait pu le croire : il a, du reste, été repris dans la suite pour le moteur Antoinette.

MM. Bariquand et Marre ont construit cette machine, en la perfectionnant dans le détail.

### 2. Moteur Panhard et Levassor.

Cette maison, qui avait acquis une légitime notoriété dans la construction des moteurs d'autos, fut une des premières en France à adapter ses machines à la propulsion des dirigeables et des aéroplanes. Pour ce qui est des dirigeables on n'avait pas trop à se préoccuper du poids spécifique du moteur, et l'on transporta dans la nacelle les machines que l'on avait montées avec tant de succès sur le châssis des voitures. Mais quand on travailla pour les avions, il fallut prêter plus d'attention à l'allègement et l'on fut amené à modifier quelques organes.

L'aspect d'ensemble de la construction est celui des voitures : les cylindres, disposés verticalement en ligne, sont assemblés sur un carter d'aluminium, en formant un groupe haut et relativement étroit. Le rapport  $\frac{C}{D}$  de la course à l'alésage a toujours une valeur élevée, quelquefois même supérieure à 1,4. Les cylindres sont faits en acier, mais la culasse est en fonte, avec enveloppe d'eau en cuivre rapportée et soudée.



Le trait le plus original de ces machines se trouve dans une disposition nouvelle des soupapes d'aspiration et d'échappement, qui sont disposées concentriquement et logées au sommet du cylindre; elles sont commandées par des tiges soulevées par une came à double profil (fig. 301). La soupape d'échappement E coulisse à frottement doux dans un guidage cylindrique porté par la culasse; elle a la forme d'un tube fortement évasé par le bas, en pavillon, venant reposer sur un siège pratiqué dans le métal de la culasse. La soupape d'aspiration A est analogue aux soupapes habituelles; elle fait joint sur E. L'air carburé arrive par *a*; les gaz brûlés sont déchargés par *e*, et se dirigent vers un collecteur. Les deux soupapes se trouvent suspendues l'une et l'autre à des ressorts qui tendent également à les soulever vers le haut.

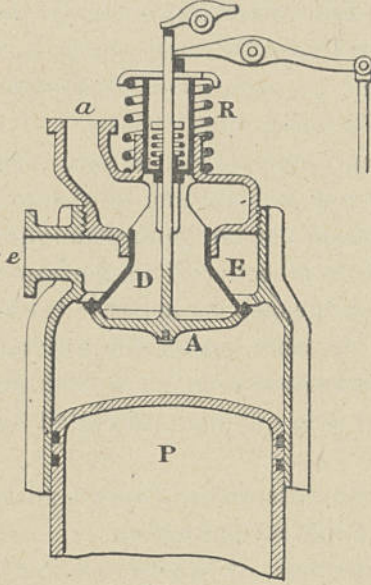


Fig. 301.  
Soupape Panhard et Levassor.

L'extrémité supérieure de E se termine par une embase; la tige de A porte deux renflements, dont l'un limite sa course vers le haut, en butant contre E, et dont l'autre sert d'appui au ressort de rappel R. Il suffit donc de peser sur l'embase de E pour faire descendre d'un bloc les deux soupapes et laisser échapper les gaz; en appuyant sur la tige de A, on sépare les deux valves et l'on ouvre le chemin aux gaz venus par *a*. Ce double résultat est obtenu par un culbuteur C pour la tige D et A et un levier, invisible sur le dessin, pour E.

On ne peut refroidir ces clapets, mais l'afflux de l'air carburé, qui est froid, suffit pour empêcher une élévation anormale de température. Les passages sont larges et la culasse ne présente pas de recoin exposant aux dépôts solides incandescents et aux allumages intempestifs. Ces soupapes doubles ont été longtemps acceptées, puis on y a renoncé.

C'est un Panhard et Levassor de 45 chevaux à 4 cylindres de 110 millimètres sur 0 m. 140, pesant 90 kilogrammes, qui équipait l'avion monoplane sur lequel Dubonnet a remporté le prix de la Nature, au concours d'endurance entre Juvisy et Saint-Aubin (1).

### 3. Moteur Bréguet-Bugatti.

Dans ce moteur, on a cherché à recueillir les avantages des faibles alésages, des longues courses et des grandes vitesses; au salon de 1921, on présen-

1. M. Panhard a aussi établi un moteur en V extrêmement robuste et souple.



tait un 8 cylindres verticaux en ligne, de 108 millimètres d'alésage et 0 m. 160 de course, réglé à 2.200 tours, et développant 260 chevaux par une pression moyenne au cylindre de près de 9 kilogrammes. Ces caractéristiques sont remarquables.

Les cylindres sont usinés séparément dans des blocs d'acier spécial forgés sans soudure autogène et boulonnés sur une même culasse; la qualité du métal permet de diminuer l'épaisseur des parois et de réduire leur échauffement. Les chemises en duralumine sont rapportées sur les faces des blocs cylindres et fixées au moyen d'étriers. Les pistons en aluminium sont munis de segments spéciaux racleurs d'huile.

Le vilebrequin est constitué par deux arbres quatre cylindres calés à angle droit, et réunis par un emmanchement portant l'engrenage commandant la distribution : chaque maneton est encadré entre deux paliers. Les bielles présentent une section en H; leur longueur est 1,65 fois celle de la course; elles sont donc courtes, mais la réaction latérale n'est pas excessive, vu le faible alésage de 108 millimètres.

Chaque cylindre possède, sur le fond, une soupape de décharge de 50 millimètres de diamètre et deux d'admission de 34 millimètres; leur surface totale est des  $\frac{40}{100}$  de celle du piston. La commande des soupapes est effectuée par culbuteurs actionnés par un seul arbre à cames, courant au-dessus des cylindres, soutenu par 10 paliers; mais cet arbre est coupé en deux parties, entraînées par un arbre vertical et un pignon attaquant leur point de jonction. Chaque culbuteur n'agit que sur une seule soupape.

Une pompe centrifuge à huile puise l'huile au fond du carter et l'envoie à un radiateur, d'où elle va à une pompe à engrenages, qui la distribue aux divers organes. De plus, les chapeaux des têtes de bielle portent des léchettes, qui constituent un graissage de secours par barbotage, au cas où une pompe viendrait à manquer.

La maison Bréguet a créé des groupes bi et quadrimoteurs, qui constituent une intéressante innovation : voici ce dont il s'agit. On rassemble deux ou quatre moteurs à huit cylindres, et on les place côte à côte sur un carter commun, en leur faisant entraîner un seul arbre d'hélice avec une démultiplication de 2 à 1. Dans le quadrimoteur, il y a deux moteurs au-dessus de l'arbre et deux moteurs au-dessous. Chaque moteur peut fonctionner indépendamment l'un de l'autre, car il a sa pompe à eau centrifuge, sa pompe à huile et deux dispositifs d'allumage. L'encombrement longitudinal est réduit à près de moitié par ce groupement, alors que l'encombrement vertical est peu supérieur, par suite de la symétrie du fuselage par rapport à l'axe de l'hélice. Le groupe possède un débrayage automatique ou commandé d'un moteur quelconque : il en résulte qu'en cas d'avarie d'un des moteurs le pilote peut l'arrêter s'il ne s'arrête de lui-même, tout en continuant son vol. Mais on ne peut le remettre en prise



en cours de vol. Inutile de faire ressortir les avantages qui résultent de cette combinaison de machines.

Le groupe est monobloc : les carters des moteurs ne forment qu'un seul bloc avec le carter du démultiplicateur. La fixation et le montage sur l'avion sont simples, attendu que le bloc est suspendu à l'avant, à la hauteur du premier palier de l'hélice, et à l'arrière par le cadre du démultiplicateur. Le pilote, placé à l'arrière, a devant lui l'ensemble des commandes des moteurs; il a sous la main un bras mobile, servant aux démarrages et couplages successifs des moteurs.

Le démarrage étant fait, il faut que l'engrènement du pignon sur la couronne de l'arbre d'hélice ait lieu sans choc, ce qui exige qu'il possède la même vitesse de rotation; c'est réalisable à l'aide d'un synchronisateur placé en bout de l'arbre porte-hélice. Il se compose de quatre pointes, reliées à la masse, et tournant respectivement à la vitesse de l'arbre à cames de chacun des moteurs, en face de quatre quarts de disque reliés à un plot du distributeur d'allumage de chaque machine; celui-ci a la vitesse de l'arbre porte-hélice, qui est celle des arbres à cames des moteurs en prise, puisque la démultiplication est de  $\frac{1}{2}$ . Pour un moteur non encore engrené, la position angulaire de l'étincelle sur le disque dépend alors, à chaque instant, de la différence de vitesse entre son vilebrequin et l'arbre principal. Au moment où l'étincelle se stabilise, dans la région d'un repère fixe tracé sur le disque, il suffit de pousser le levier attaché au bras mobile; le moteur se trouve ainsi couplé.

Le vilebrequin de chaque moteur est lié au pignon hélicoïdal par l'intermédiaire d'un régulateur de vitesse, breveté au nom de M. Vuillerme; ce régulateur transmet le couple moteur de chaque vilebrequin, tout en lui permettant un glissement angulaire par rapport au pignon, chaque fois que le couple moteur est supérieur ou inférieur à son couple moyen. Il permet donc toutes les variations de vitesse instantanée du moteur, et transmet sans choc un couple constant au récepteur de grande inertie qu'est l'hélice. Ce joint régulateur de vitesse supprime les chocs dus aux variations d'accélération, réduit les usures et conduit à une diminution de poids.

Le quadrimoteur peut développer 1.200 chevaux, au régime accéléré de 2.800 tours, que l'on peut trouver excessif; pour 2.200 tours, on lui fait fournir aisément 1.000 chevaux.

#### 4. Moteur Clément-Bayard.

Les « demoiselles » de Santos Dumont ont rendu célèbres les machines sorties des ateliers de Levallois : M. Clément a créé des types nombreux, qui ont un remarquable caractère de robustesse et de maniabilité.

Signalons d'abord un monobloc à deux cylindres de 45 chevaux, pour autos :



une coquille de cuivre forme chemise d'eau; elle est ondulée pour faciliter la dilatation et soudée sur les parois de fonte. Pistons en acier embouti; allumage à haute tension, bougies au-dessus des soupapes d'aspiration; robinet de décompression sur les soupapes de décharge.

Le même type a été construit à 4 cylindres; il développait 45 chevaux par 1.500 tours et pesait 120 kilogs. Les soupapes sont contiguës, pour simplifier les canalisations. Une pompe à débit variable assure un bon graissage. Le carburateur présente la particularité d'avoir son gicleur au centre de la cuve à niveau constant.

La même maison a créé un modèle à deux cylindres horizontaux, de 130 millimètres d'alésage et 0 m. 120 de course : cette machine a possédé longtemps un record de légèreté; le 2 cylindres ne pesait que 60 kilogrammes pour 30 chevaux. L'hélice fait volant.

Les soupapes, situées sur les fonds, sont actionnées par culbuteurs et tiges extérieures; un des arbres à cames commande une pompe à engrenages pour la circulation d'eau, l'autre la pompe à huile de graissage. L'huile est prise dans le récipient du carter, et refoulée aux coussinets de palier; l'excédent graisse les bielles et les cylindres, avant de retourner au réservoir.

Une magnéto à bougies est montée sur le bout du vilebrequin, et le courant est distribué aux allumeurs par un distributeur placé à l'extrémité d'un arbre à cames symétriquement à la pompe.

Les pistons sont en acier. Les canalisations sont disposées de manière à écarter les gaz chauds de la décharge du siège de la soupape d'admission.

Le carburateur est placé en dessous des cylindres et abrité du vent).

## 5. Moteur Benz.

Cette machine est une des premières et des meilleures de la construction allemande; elle marche de pair avec les Mercédès et les Maybach, que nous décrivons tour à tour, et qui sont, comme elle, à cylindres verticaux en ligne.

Deux soupapes d'admission et deux de décharge sont montées sur la culasse de chaque cylindre, et commandées par des culbuteurs, qui reçoivent leur mouvement de tiges verticales disposées de chaque côté du cylindre : les culbuteurs sont à roulements à billes. Les deux arbres à cames sont placés à l'intérieur et à la partie supérieure du carter, celui de l'échappement est à glissière, avec cames de décompression. Les supports des culbuteurs sont vissés sur les culasses.

En somme, rien de bien spécial en tout cela, mais de nombreux détails intéressants de construction. Des joints sphériques réglables sont portés par le bout supérieur des tiges des culbuteurs; ils permettent un réglage précis du

1. Le moteur Darracq, des Établissements de Suresnes, présente une certaine analogie avec celui que nous venons de décrire; il a réalisé de même une grande légèreté avec de remarquables qualités d'endurance. A l'aide d'un axe et de deux engrenages, on attaque les soupapes, la magnéto et deux pompes.



jeu entre ceux-ci et les tiges des soupapes. Il y a de même des joints semi-sphériques à l'extrémité inférieure des tringles de culbuteurs, qui fonctionnent dans des cuvettes d'acier à l'intérieur des poussoirs creux. Les galets des poussoirs présentent un léger désaxement par rapport au centre de la came.

Nous possédons un certain nombre de données sur un moteur Benz de 230 chevaux, à six cylindres, qui propulsait un biplan ennemi de reconnaissance et de réglage de tir, biplace, ayant un poids utile total de 1.480 kilogrammes en ordre de marche, et 41,5 mètres carrés de surface portante; il avait élevé son plafond à 6.400 mètres et montait à une altitude de 3.000 mètres en vingt et une minutes et quarante-cinq secondes.

Pour ce qui est du moteur, nous notons les chiffres ci-dessous :

|   |  |
|---|--|
| Alésage des cylindres D.....                          | 145 mm.                                  |
| Course des pistons C.....                             | 0 m. 190                                 |
| Rapport $\frac{C}{D}$ .....                           | 1,31                                     |
| Compression volumétrique.....                         | 4,9                                      |
| Vitesse de régime.....                                | 1.450 tours.                             |
| Diamètre des soupapes d'admission et de décharge..... | 52 mm.                                   |
| Levée.....  | { des soupapes d'admission..... 11,8 mm. |
|   | { — d'échappement..... 11,2 mm.          |
| Jeu des poussoirs.....                                | 0,23 et 0,38 mm.                         |
| Poids du moteur.....                                  | 425 kilogr.                              |

Le poids utile de l'avion était de 450 kilogrammes.

## 6. Moteur Mercedes.

Ce moteur, qui a acquis une grande célébrité, dérive du moteur Daimler, un des premiers de l'automobilisme; il est devenu plus tard un des meilleurs propulseurs d'avions du camp ennemi. La société qui le construit s'est toujours imposé de n'adopter aucune solution nouvelle, qui n'ait été soumise longuement à l'épreuve de la pratique, chez elle ou chez ses concurrents, et de s'en tenir aux dispositions les plus simples, dussent-elles ne pas conduire aux plus forts allègements et aux meilleurs rendements.

Le type est celui des moteurs verticaux en ligne à 4, 6 ou 8 cylindres : les cylindres sont fondus par paire, avec chemises d'eau; le rapport  $\frac{C}{D}$  de la course au diamètre est habituellement égal à 1,3, pour des vitesses de régime de 1.200 à 1.400 tours.

Les soupapes d'admission et d'échappement, logées à la partie supérieure des cylindres, sont commandées par culbuteurs, actionnés par de longues tiges et des poussoirs.

Deux conduites de forte section relient le carburateur à la culasse : le mélange aspiré est réchauffé par l'enveloppe de circulation d'eau. Le tuyau de décharge, placé à l'opposé, est évasé par un tronc de cône, ce qui en fait un silencieux. Un même arbre commande la pompe et la magnéto à haute tension. L'avance à



L'allumage est réglable par un levier : les choses sont disposées pour qu'une augmentation de l'avance coïncide avec une admission de mélange plus riche.

La légèreté a été sacrifiée à la robustesse : un moteur de 60 chevaux (110 sur 140, 1.300 tours), pesait au total 180 kilogrammes, décomposables ainsi qu'il suit :

|                      |                  |
|----------------------|------------------|
| Moteur.....          | 120 kilogrammes. |
| Ventilateur.....     | 10 —             |
| Provision d'eau..... | 15 —             |
| Radiateur, etc.....  | 15 —             |
|                      | <hr/>            |
|                      | 160 kilogrammes. |

On arrivait donc à près de 3 kilogrammes par cheval; mais ce poids a été diminué par la suite.

Un type de 240 chevaux a été créé à six cylindres, avec un alésage de 140 millimètres et une course de 0 m. 160 : vitesse de 1.500 tours.

Pour faciliter la mise en route des machines d'une grande puissance, on fait usage d'une commande de décompression, que nous devons signaler. L'arbre à cames d'échappement coulisse dans ses paliers et met en action de petites cames auxiliaires : pour permettre ce mouvement, sans modifier l'agencement des roues dentées, la roue d'entraînement est manchonnée sur l'arbre à cames par six tenons et mortaises. Un levier à main, mobile autour de l'axe de l'arbre à cames, actionne une vis à pas rapide et fait avancer le manchon d'acier qui transmet son mouvement à l'arbre par l'intermédiaire d'une double butée à billes; quand l'arbre a coulé à fond, chaque came de décompression se trouve en ligne avec l'extrémité du galet du culbuteur de décharge. La came de décompression est calée de façon à ouvrir en compression les soupapes d'échappement 12° après le point mort inférieur et à les fermer 44° avant ce point mort supérieur. Pour faciliter l'engagement des cames, les galets des culbuteurs sont taillés en biseau à 45°.

La compression des Mercedes n'était d'abord que de 4,7; on la porta ensuite à 5, puis à 6; ce dernier chiffre peut être considéré comme excessif, au niveau du sol, et il était évidemment prévu pour les grandes altitudes; par un moyen quelconque, l'aviateur devait décompresser au départ. Le moteur de 260 chevaux, qui a été le dernier modèle établi au cours de la guerre, n'avait qu'une compression égale à 5,2 : c'est le meilleur type de la firme. Voici ses caractéristiques principales :

|                                    |                   |
|------------------------------------|-------------------|
| Nombre de cylindres.....           | 6                 |
| Alésage des cylindres.....         | 160 millimètres.  |
| Course des pistons.....            | 0 m. 180          |
| Poids.....                         | 440 kilogrammes.  |
| Vitesse.....                       | 1.450 tours.      |
| Poids du vilebrequin.....          | 50 kilogrammes.   |
| Surface radiante du radiateur..... | 11 mètres carrés. |
| Maximum de la caractéristique..... | 1.570 tours.      |



Chaque cylindre possède quatre soupapes de 160 millimètres de diamètre et de 3 millimètres de portée; l'allumage est double.

Le vilebrequin a une section décroissante depuis le côté de l'hélice jusqu'au côté opposé, par augmentation de sa perforation, qui va de 19 à 42 millimètres. Les axes de piston, de 37 millimètres de diamètre extérieur, sont forés suivant un diamètre de 25 millimètres.

Tous les cylindres sont indépendants et emboîtés à leur base sur la partie supérieure du carter, sans interposition d'aucun joint.

L'alimentation d'air est originale : le carter habituel, formant réservoir d'huile du moteur, est doublé d'un second; l'intervalle est traversé par un courant d'air qui s'échauffe en refroidissant le métal. Il est pris à l'extérieur au moyen de deux manches latérales en demi-entonnoir; comme le carburateur occupe l'arrière de l'avion, il s'établit en vertu de la vitesse du vol une circulation d'air forcée, qui a pour effet avantageux une augmentation appréciable de la valeur de la cylindrée.

Le carburateur est réchauffé par une dérivation de l'eau de circulation.

Deux magnétos allument les doubles bougies de tous les cylindres.

Les pompes à huile sont à deux cylindres en tandem; le plus petit aspire de l'huile fraîche et froide, qui est ensuite mêlée à celle puisée dans le carter et répartie entre tous les organes à graisser.

## 7. Moteur Maybach.

Cette marque paraît avoir été celle que les aviateurs allemands préféraient à toute autre, et à laquelle ils accordaient plus de confiance; on avait monté des Maybach sur les biplans biplaces de reconnaissance et de réglage, et sur les multiplaces de bombardement. C'étaient des machines assez lourdes, puisque le poids d'une 260 chevaux atteignait 433 kilogrammes; mais elles possédaient une grande robustesse et une remarquable souplesse, donnant un fonctionnement irréprochable entre leur vitesse de régime à 1.400 tours et un ralenti à 180 tours. Une compression de 6 kilogrammes conduisait à un rendement satisfaisant, que l'on a pu constater sur les moteurs pris à l'ennemi (1).

Le moteur Maybach de 260 chevaux est constitué par 6 cylindres verticaux en ligne, de 165 millimètres d'alésage et 0 m. 180 de course. Les cylindres sont construits en trois parties : une culasse en fonte est vissée dans un cylindre en acier revêtu d'une enveloppe en tôle d'acier. Chaque cylindre possède deux soupapes d'admission et deux de décharge, de grande section (54 millimètres de diamètre). Les pistons sont en fonte : ils mesurent 152 millimètres de hauteur, et portent 4 segments, plus une gorge semi-circulaire pour garder les huiles.

1. Voir *Technique moderne*, tome X, page 546, 1918.



Le vilebrequin est creux, mais foré de trous inégaux, qui uniformisent le taux de travail des diverses sections : les manetons de 66 millimètres sont percés de trous de 38 millimètres.

L'allumage est assuré par deux bougies par cylindres : il est à haute tension. La magnéto fait un tour et demi par tour du moteur.

Les appareils de distribution sont commandés par deux arbres à cames. Les plus grands soins ont été apportés à l'agencement des organes en vue d'une marche précise et silencieuse. Les guides des poussoirs sont en bronze; les tiges en acier y coulisent avec le minimum de jeu. Elles sont terminées à leur extrémité par des galets d'acier qui tiennent le contact avec les cames en supprimant tout choc.

Chaque carburateur alimente trois cylindres.

Ces carburateurs sont caractérisés par le fait qu'une commande, obturant plus ou moins les gicleurs, est solidaire de celle du boisseau des gaz et du volet d'entrée d'air. Ce procédé garantit l'homogénéité et la constance du mélange. Une seule manette est à manœuvrer pour toutes vitesses au niveau de sol et aux altitudes supérieures.

La pompe à essence élève le carbure dans un récipient supérieur, d'où l'excès lui revient; son cylindre en bronze reçoit un piston plongeur, et porte ses soupapes d'admission et de refoulement placées sur un même axe vertical.

Le carter est rafraîchi par une circulation d'air : les constructeurs allemands attachent une grande importance à ce détail.

La circulation de l'eau est produite par une pompe centrifuge.

Le mouvement des huiles de graissage se fait par des pompes à engrenages : le lubrifiant part de la tête de bielle, traverse l'axe du piston, entre dans le cylindre, puis retombe au carter, où il est repris par les pompes et renvoyé au réservoir après avoir passé par un filtre.

Une intéressante particularité du moteur Maybach est constituée par l'appareil de mise en marche : on emploie à cet effet une pompe, dite de mélange, (*gemischpumpe*), manœuvrée à la main, par laquelle on aspire au carburateur une certaine quantité de mélange que l'on refoule au cylindre. Il suffit alors de faire jaillir une étincelle, à l'aide d'une magnéto de départ, pour que le moteur se mette en marche. Cette pompe a un corps en aluminium, de 180 millimètres de diamètre; le piston est garni d'un cuir embouti; sa course est de 0 m. 300.

## 8. Moteur Antoinette.

Ce n'est pas seulement dans l'ordre alphabétique, mais encore dans l'ordre chronologique que cette machine, œuvre de M. Levavasseur, occupe les premiers rangs parmi les moteurs français d'aviation; elle s'est fait remarquer par une longue série de succès.



Ce moteur en V est le plus généralement à huit cylindres, d'une puissance de 50 chevaux (alésage 110, et course 105 millimètres), mais on en a aussi construit de 100 chevaux, à 16 cylindres : le 50 chevaux pèse 130 kilogrammes et le 100 chevaux 175 kilogrammes. L'angle du V est de 90°. Les cylindres sont fixés sur un carter d'aluminium, dont le sommet forme un prisme droit ; chacune de ses faces porte quatre cylindres. Les cylindres de même ordre, dans les deux groupes qui s'affrontent, ne se font pas exactement vis-à-vis, mais ils sont légèrement déplacés, afin de permettre l'attelage de leurs bielles respectives sur le même coude du vilebrequin. Celui-ci ne présente donc que quatre coudes, qui sont dans le même plan : il est porté par cinq paliers.

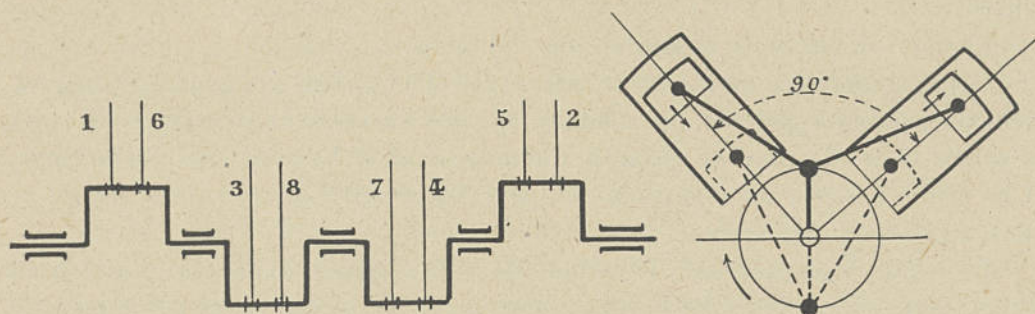


Fig. 302. — Vilebrequin Antoinette.

L'ordre d'allumage résultant de ce calage doit arrêter notre attention. On doit chercher à faire suivre les explosions à un quart de tour l'une de l'autre. Or, remarquons que les coudes du vilebrequin passent, dans sa rotation, deux par deux simultanément au point le plus haut et le plus bas de leur circonférence ; comme les deux groupes de cylindres sont décalés de 90° l'un sur l'autre, il en résulte que les quatre pistons reliés aux coudes 1-6 et 5-2 (fig. 302) arrivent au point mort dans l'ordre suivant : 1 et 5 d'abord, puis, un quart de tour après, 2 et 6, ou inversement. On fera exploser les quatre cylindres 1, 5, 2 et 6 dans cet ordre : 1 et 4 seront décalés de deux temps, le point mort supérieur de l'un correspondant au temps I d'aspiration et l'autre au temps III, explosion et détente. Les explosions alternent ainsi de part et d'autre du carter, et l'on évite les vibrations pendulaires faisant osciller les moteurs autour de l'axe.

La carburation est obtenue par injection directe d'essence dans la tuyauterie d'admission : l'emploi d'une pompe à essence est compensé par une grande sécurité de fonctionnement, que donne à un moindre degré, en aviation, le carburateur à niveau constant. La pompe injecte l'essence à travers des gicleurs capillaires : sa course est variable, et à la disposition du pilote.

La soupape d'aspiration est automatique. Les cylindres en acier forgé forment une pièce avec la boîte à clapets : cette boîte, ainsi que la chambre d'explosion et le guidage de la tige de la soupape de décharge sont refroidis par une circulation d'eau.



Dans le but de maintenir la température des parois à une température assez élevée, sans qu'elle puisse devenir excessive, la circulation de l'eau est réglée de telle façon qu'il se vaporise une certaine quantité d'eau dans les enveloppes. A sa sortie, cette eau dégage de la vapeur qui s'échappe par un orifice pratiqué à la partie supérieure du réservoir qui la reçoit, et va se condenser dans un radiateur double, formé de deux panneaux en aluminium. On donne, pour un moteur de 50 chevaux, à la surface radiante une superficie de 12 mètres carrés environ. L'eau condensée est recueillie dans un récupérateur, d'où une pompe la ramène au réservoir.

Le moteur Antoinette a subi depuis son origine diverses modifications (qui ont été des perfectionnements), dans la description desquelles nous ne pouvons entrer, car les inventeurs n'ont jamais dit leur dernier mot et l'on peut toujours craindre de n'être pas mis au courant de leur plus récente pensée (1).

C'était un moteur Antoinette qui actionnait les avions sur lesquels Latham a exécuté ses raids, d'un succès inégal, mais toujours à l'honneur du hardi et intrépide pilote et de l'appareil qu'il montait.

### 9. Moteur De Dion.

MM. de Dion et Bouton, qui ont construit des milliers de moteurs d'automobiles, généralement à cylindres verticaux en ligne, ont atteint une perfection des détails que l'on désespère de faire ressortir suffisamment dans une description sommaire, mais dont l'ensemble constitue une des meilleures marques.

Cette puissante maison devait à sa renommée d'établir des modèles spéciaux pour l'aviation; elle a étudié d'abord un type de 100 chevaux, 8 cylindres de 120 d'alésage et 0 m. 130 de course, en V, donc en deux rangées de quatre, fondus deux par deux, avec un seul arbre de distribution et un seul jeu de cames, actionnant les soupapes placées les unes en face des autres. Les bielles opposées sont dans le même plan; l'une est une bielle à fourche, dont les deux bras enserrent l'autre, qui tourillonne sur la portée extérieure de son coussinet; celui-ci est garni d'antifricition intérieurement et extérieurement. La bielle centrale a une portée réduite, mais elle oscille d'un angle très faible autour de sa position moyenne.

On exécute en aluminium toutes les pièces que l'on peut; malgré cela, ce moteur est resté classé parmi les moteurs robustes et relativement lourds; il jouit d'une grande sécurité de fonctionnement.

1. La remarque que nous faisons ici s'applique à toutes les machines que nous mentionnons; malgré tous nos efforts, il nous arrivera de décrire des choses qui ne se font plus et d'en ignorer d'autres, souvent meilleures, qu'il eût fallu connaître.



### 10. Moteur Anzani.

Le moteur Anzani, qui a eu la gloire de porter Blériot de Calais à Douvres, était un 3 cylindres, en étoile, à deux manetons, dont le calage singulier a néanmoins fourni un couple assez régulier pour permettre un vol satisfaisant : il est vrai que la machine était pourvue de deux volants et que la résultante des forces vives était équilibrée par des masses réparties sur leurs jantes.

Le schéma de la figure 303 montre comment les trois cylindres étaient disposés autour de l'axe. On conçoit aisément que les explosions ne peuvent être équidistantes.

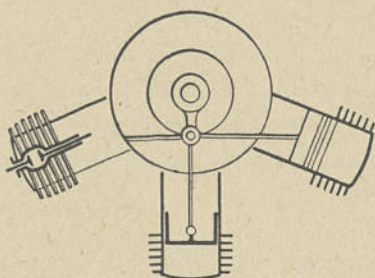


Fig. 303. — Trois cylindres Anzani.

Dans cette première création de M. Anzani, les soupapes de décharge étaient seules commandées, celles d'aspiration fonctionnant automatiquement. Trois modèles furent construits, de 25, 30 et 45 chevaux, pesant 65, 85 et 105 kilogrammes; les caractéristiques d'alésage, de course et de vitesse étaient

105/0,130; 1.600 tours — 120/0,140; 1.500 tours — 135/0,150; 1.400 tours. Le poids spécifique était voisin de 2 kilogrammes.

Cette machine avait obtenu des succès dans les concours de motocyclettes, avant d'être montée sur aéroplane.

Mais M. Anzani transforma bientôt son modèle primitif en construisant des 5 et 6 cylindres en étoile, puis des moteurs en V. La puissance massique de ces machines put être abaissée à 1 kg. 3 par cheval à la suite de nombreuses améliorations, dans le détail desquelles nous ne pouvons entrer. Notons seulement que la tubulure d'admission a été grandement perfectionnée. Une chambre annulaire a été ménagée sur une des faces du carter; des tubes en aluminium très courts, et de large section, en sortent tangentiellement et aboutissent au fond de chaque cylindre. Les gaz y tournent toujours dans le même sens, ce qui assure une carburation homogène et régulière pour tous les cylindres; ils se réchauffent tout en refroidissant le carter, et cela constitue un double résultat favorable au fonctionnement.

Un seul maneton, fixé entre deux plateaux faisant volant, est attaqué par les cinq bielles.

Les soupapes d'aspiration et de décharge sont logées côte à côte dans la culasse des cylindres.

La magnéto est commandée par un engrenage calé sur le bout de l'arbre.

Le carburateur Zénith occupe la partie inférieure de la machine.

Signalons enfin des roulements à billes, un graissage des organes sous pression, etc.



Le 6 cylindres de 60 chevaux ne pèse que 83 kilogrammes et s'est fait remarquer par une consommation très faible.

### 11. Moteur Peugeot.

La maison « Les Fils de Peugeot frères », de Mandeuve, partage avec MM. Panhard et Levassor l'honneur d'avoir créé les premières voitures automobiles françaises; M. Armand Peugeot donna d'abord la préférence à la machine à vapeur Serpollet, puis il adopta le moteur Daimler, auquel il apporta d'importants perfectionnements (1). Un phaéton à quatre places Peugeot remporta le premier prix dans les célèbres courses Paris-Rouen et Paris-Bordeaux, et, en 1891, une voiture Peugeot effectua le premier long parcours. Nous ne pouvons suivre les progrès que fit dès lors le moteur Peugeot; mais il était de notre devoir de les rappeler.

Aujourd'hui, le moteur Peugeot est du type en V, à 60°, comportant deux groupes de cylindres : il est construit par la Société des Automobiles et Cycles Peugeot. Remarquable à tous égards, il réalise une performance de premier ordre au point de vue de l'allègement; en effet, le type d'aviation à 12 cylindres, 160 millimètres d'alésage et 0 m. 175 de course, développe 600 chevaux par 1.650 révolutions par minute et il ne pèse que 625 kilogrammes.

Les cylindres sont en aluminium émaillé, avec chemise vissée en acier, constituant le fond; les pistons en aluminium sont reliés au vilebrequin par bielle droite et bielle à fourche; il n'y a qu'un seul arbre à cames, avec commande par culbuteurs, pour doubles soupapes d'admission et d'échappement.

Chaque groupe de six cylindres est alimenté par un carburateur double placé d'ordinaire dans le V, quelquefois extérieurement au moteur. L'allumage est assuré par quatre magnétos, avec deux bougies par cylindre. La circulation d'eau est assurée par deux pompes centrifuges : le graissage s'effectue sous pression, par deux pompes doubles à engrenages.

La consommation garantie est de 235 grammes d'essence par cheval-heure et de 20 grammes d'huile; mais elle est moindre en réalité.

La même Société construit encore :

1° Des moteurs 550 chevaux, 16 cylindres en V (130 millimètres sur 0 m. 180), avec réducteur central système Jouffret, ramenant la vitesse de l'hélice à 1.000 tours, en utilisation normale;

2° Des moteurs 500 chevaux, 16 cylindres (130 millimètres sur 0 m. 170);

3° Des moteurs 450 chevaux, surcomprimés et sous-alimentés (120 millimètres sur 0 m. 130) en X à 45°.

Les constructeurs revendiquent pour ces diverses machines une grande

1. Voir notre 3<sup>e</sup> édition, tome III, page 507.



sécurité, assurée par l'emploi de dispositifs longuement éprouvés et des facilités d'accessibilité de tous les organes, magnétos, carburateurs et pompes, qui simplifient le service.

## 12. Moteur Pipe.

Moteurs d'autos, de dirigeables et d'aéroplanes sont au programme de cette importante maison de construction belge. Le type général est en V, les cylindres étant montés à 90° entre eux, reliés deux à deux pour l'admission et l'échappement.

Dans les premiers modèles, les soupapes étaient disposées symétriquement sur une culasse hémisphérique, dont les pistons épousaient la forme.

On a adopté ensuite un système de deux soupapes concentriques fonctionnant l'une dans l'autre, mobiles en face d'orifices d'admission et de décharge; les lumières supérieures, moins nombreuses que celles qui sont en dessous, livrent passage aux gaz frais, les autres servant à l'évacuation des gaz brûlés. L'arbre des cames occupe l'angle aigu du V; la commande des valves est effectuée par un culbuteur, agissant sur la partie centrale, et un autre, en forme de fourche, exerçant une pression sur le poussoir du tiroir extérieur. Quand le premier culbuteur ouvre la valve centrale, celle-ci quitte son siège constitué par le tiroir; lorsqu'au contraire la fourche presse sur la tige du tiroir, les deux se meuvent ensemble. Nous avons déjà trouvé une disposition analogue dans la construction Panhard : je ne saurais dire à qui appartient la priorité de cette manière de combiner les deux valves.

Les cylindres sont entourés par une enveloppe en aluminium, à travers laquelle une turbine aspire de l'air, pour refroidir la paroi : la turbine est clavetée sur l'arbre du moteur. Il en résulte qu'aux faibles vitesses l'afflux d'air est moindre; mais alors le refroidissement n'a pas besoin d'être aussi énergique.

Le carburateur est intercalé entre les jambes du V; il est automatique; on fait varier les vitesses par déplacement d'un boisseau, limitant l'admission d'air additionnel.

## 13. Moteur Renault.

Les ateliers de Billancourt ont acquis une importance et une célébrité mondiale, par la variété de leurs produits et leur perfection. Les moteurs de voitures du type Renault possédaient depuis des années une nombreuse clientèle, lorsqu'en 1907 fut créé un remarquable moteur d'aviation de 50 chevaux, qui eut l'honneur de servir aux premières reconnaissances des armées franco-anglaises, en 1914; sa puissance fut rapidement portée à 130, puis à 220 et 300 chevaux; sur la fin de la guerre, il existait un type de 450 chevaux. Au début



de 1919, les usines Renault auraient pu sortir 850 moteurs de ce modèle par mois.

Les moteurs d'automobiles sont généralement à quatre cylindres verticaux en ligne, refroidis par circulation d'eau. Pour 12 chevaux, ces cylindres monoblocs ont un alésage de 80 millimètres et une course de 0 m. 140; le vilebrequin repose sur trois paliers; l'arbre à cames, attaqué par le vilebrequin, commande la pompe à huile et la magnéto; le carter est fait en deux parties et il est fixé au cadre par quatre attaches.

Les soupapes d'admission et de décharge sont inclinées et placées du même côté du moteur; elles sont facilement accessibles et démontables.

Le refroidissement s'opère par le moyen d'un thermosiphon et d'un radiateur multitubulaire, avec circulation forcée d'air dans le radiateur et sous le capot. Les tubes sont entourés par l'eau et groupés en quantité, leurs extrémités sont soudées à un collecteur; on les juxtapose parallèlement.

Le graissage des organes est effectué au moyen de l'huile contenue dans le carter; elle circule par l'action d'une pompe rotative à engrenages, actionnée par un arbre vertical, qui est commandé par pignon. Après avoir été filtrée au passage d'une crépine, elle va aux coussinets du vilebrequin, s'écoule dans des colliers à gorge, tournant avec l'arbre, traverse des conduits percés dans cet arbre et ses coudés pour atteindre les têtes de bielle. L'huile qui s'en échappe est projetée en tous sens, et elle graisse les pistons, pieds de bielle, cames, taquets, etc.; elle retombe enfin dans le fond du carter, d'où elle est reprise par la pompe. Une jauge permet de s'assurer que le liquide huileux est à un niveau marqué par un repère.

Le carburateur, d'un type spécial à la maison Renault, est à gicleur, alimenté par une cuve à niveau constant, avec soupape automatique d'air additionnel, freinée, livrant à l'air une section de passage proportionnelle à la dépression produite par l'appel du moteur. On règle la quantité d'air admise par un boisseau, découvrant progressivement des ouvertures de section calculée avec soin; une manette de ralenti déplace le boisseau depuis la fermeture jusqu'à une position correspondante à la vitesse moyenne; une pédale continue son action jusqu'à l'ouverture complète. Pour le lancement au départ, on bloque la soupape d'air additionnel. Au sortir de l'étrangleur, l'air carburé passe dans une conduite venue de fonte avec le bloc des cylindres, et il se réchauffe à la température de l'eau de circulation.

Une magnéto à haute tension, munie d'un distributeur, pourvoit à l'allumage; un parafoudre protège les isolants contre une tension anormale; s'il y jaillit des étincelles, c'est que l'allumage ne se produit pas dans un cylindre. Une bougie spéciale est fabriquée à Billancourt pour les voitures de la maison. Une dynamo, tour à tour motrice et génératrice, nommée dynastard par les inventeurs, adjointe à une batterie, permet la mise en marche et assure l'éclairage des phares et de la voiture.

Il n'y avait qu'à alléger ces machines pour les appliquer à l'aviation : mais



MM. Renault n'ont jamais cherché à s'attribuer le record de la légèreté, estimant qu'il ne fallait rien sacrifier à la robustesse.

Le modèle en V fut adopté pour permettre de multiplier plus aisément le nombre de cylindres, et l'on constitua des 4, des 8 et des 12 cylindres. Une nouveauté fut appliquée aussitôt : elle consistait à faire porter l'hélice par l'arbre à cames, à demi-vitesse, que l'on établit dans ce but dans des conditions particulièrement robustes. Ce procédé est rationnel ; il concilie le bon rendement des hélices à faible vitesse et grand diamètre avec les avantages que procure une commande directe : avec un moteur tournant à 1.800 tours, l'hélice fait 900 tours.

Dans un modèle, les soupapes d'admission étaient en dessous, commandées par des poussoirs, et les soupapes d'échappement en dessus, actionnées par des culbuteurs. Le carburateur, placé entre les bras du V, était en aluminium. La magnéto, disposée sous lui, tournait à double vitesse, comme c'est l'ordinaire pour la disposition en V. Le refroidissement des cylindres, pourvus d'ailettes, s'effectuait par un ventilateur centrifuge. Le diamètre des cylindres était de 90 millimètres, la course des pistons, de 0 m. 120.

Ce modèle Renault est un des premiers moteurs d'aviation qui ait donné pratiquement de bons résultats ; il avait été toutefois devancé dans cette voie brillante par le moteur Antoinette.

L'alésage des cylindres fut successivement porté à 96 et 105 millimètres, avec des courses de 0 m. 130 : on atteignit ainsi une puissance de 70 et 80 chevaux. On en vint alors au 220 chevaux, par 12 cylindres, de 125 millimètres et 0 m. 150.

Les moteurs en V, que la maison Renault construit maintenant, sont au nombre de trois :

1° Le 300 chevaux, 12 cylindres, en deux lignes de six par groupe de deux ; 125 millimètres et 0 m. 150 ;

2° Le 450 chevaux, 12 cylindres ; 134 millimètres et 0 m. 180 ;

3° Le 550 chevaux, même nombre de cylindres ; 160 millimètres et 0 m. 180.

Pour les deux derniers, l'angle du V a été porté de 50 à 60°.

A la vitesse de 1.500 tours, la première machine développe 298 chevaux ; à 1.550 tours (régime normal), 305 chevaux, et à 1.600 tours (vitesse maximum), 312 chevaux.

L'air est carburé par deux appareils placés de chaque côté du moteur ; la distribution se fait par soupapes commandées, logées toutes deux dans les fonds des cylindres, actionnées par deux arbres à cames disposés à la partie supérieure de chaque rangée. Chacun des arbres reçoit son mouvement au moyen d'un arbre intermédiaire, incliné comme les cylindres, et d'un arbre de renvoi vertical. Ces trois arbres sont placés du côté opposé à l'hélice.

Le vilebrequin est à six manetons à 120° ; c'est lui qui porte maintenant l'hélice, sur une extrémité conique. L'allumage est double ; il est produit par



quatre magnétos, dont chacune alimente six bougies d'une rangée de six cylindres. La pompe à huile occupe le fond du carter. Les cylindres sont refroidis par une circulation d'eau, fournie par une pompe centrifuge à double refoulement, chacun des refoulements alimentant les trois enveloppes d'une rangée; à la sortie des enveloppes des groupes, le liquide est dirigé vers le radiateur.

Le carter, en alliage d'aluminium, est en deux pièces; la partie supérieure comporte deux faces, faisant entre elles un angle de  $130^{\circ}$ , sur lesquelles se fixent les embases des cylindres : deux cloisons transversales forment avec les faces antérieure et postérieure les quatre paliers de l'arbre.

Les cylindres sont en acier, pris dans la masse et usinés séparément : les pipes d'admission et de décharge, ainsi que les logements des bougies, sont rapportées, vissées et soudées à l'autogène. Les chemises en acier sont soudées de même. Les pistons sont en alliage d'aluminium très résistant : leur fond est renforcé par des nervures. Ils attaquent un maneton, unique pour deux cylindres, par l'intermédiaire d'une bielle principale et d'une biellette articulée sur la tête de la bielle principale, qui tourillonne directement sur le maneton. Remarquons à ce sujet que le sens de rotation du moteur n'est point indifférent quand on emploie de telles biellettes; il faut que l'impulsion motrice, exercée sur le piston, se produise juste au moment où la biellette est dans la direction de l'axe du maneton, de manière à ce que l'effort soit transmis directement à celui-ci. Signalons encore que, pendant la détente, le rayon réel du bras de levier de la biellette est plus grand que le rayon du maneton, ce qui est un résultat avantageux. Une épure permet aussi de voir que l'avance à l'allumage est plus grande pour les cylindres à biellettes que pour les autres, et que les chambres de compression sont inégales, si les culasses sont identiques.

Dans le but d'obtenir un parfait équilibre, on monte les deux pistons de chaque groupe l'un avec grande bielle, l'autre avec biellette de façon à avoir trois bielles et trois biellettes dans la même rangée de cylindres.

Chaque arbre à cames est enveloppé d'un carter tubulaire en aluminium, dans la partie supérieure duquel sont ménagées six ouvertures, recevant les supports de culbuteurs et correspondant chacune à la portée de deux cames de l'arbre. Chaque culbuteur porte un galet en acier trempé, venant en contact avec la came qui lui correspond; l'extrémité opposée commandant la soupape est munie de ce qu'on appelle une vis-grain, formant poussoir : on la règle à l'aide d'un tournevis.

Les magnétos produisent deux étincelles par tour de leur induit, et chacune d'elles allume six cylindres; elle doit donc faire trois tours d'induit pour deux du moteur. Le distributeur de courant fera un tour. Il faut, par conséquent, que l'induit tourne à une vitesse égale au  $\frac{3}{2}$  de celle du moteur et le distributeur trois fois moins vite que l'induit.

Le moteur de 450 chevaux ne diffère guère de celui que nous venons de décrire : nu, il pèse 453 kilogrammes; le poids du groupe motopropulseur est de



610 kilogrammes; il s'élève à 1.080 avec l'approvisionnement de quatre heures de marche.

Par 1.600 tours, il développe 481 chevaux et consomme 245 grammes d'essence; avec une admission limitée, la puissance est de 410 chevaux et la dépense atteint 276 grammes pour 1.550 tours; il est à remarquer qu'elle n'est que de 273 grammes en admission limitée, la puissance étant alors de 375 chevaux et la vitesse de 1.400 tours. Ces chiffres méritent d'être notés. On estime à 30 grammes l'huile de graissage par cheval-heure.

Les pistons sont du même type que dans le 300 chevaux, mais leur fond est plat. On monte tous les pistons d'une rangée de cylindres avec bielle, l'autre avec biellette.

Les culbuteurs d'admission sont actionnés par un galet; ils ont deux bras, dont l'écartement est maintenu par une entretoise, et sont munis chacun d'une vis-grain.

Les cylindres ne sont plus jumelés, mais séparés, chacun d'eux possédant un ajutage d'entrée d'eau à sa partie inférieure.

La prise d'eau d'alimentation du réchauffeur du carburateur est double : elle s'effectue sur les chemises d'eau des deux cylindres les plus voisins.

Pour mieux assurer le graissage des cames et galets des culbuteurs, on a ajouté un circuit d'huile particulier à chaque rangée de cylindres.

#### 14. Moteur Hispano-Suiza.

Le 8 cylindres en V de cette maison a reçu de nombreuses applications sur les avions de la guerre.

Le cylindre mi-partie acier et aluminium paraît avoir donné des résultats favorables, puisqu'on y est revenu après l'avoir abandonné.

La tête de bielle centrale forme coussinet pour la bielle à fourche; pour cela, ce coussinet est antifrictionné intérieurement et extérieurement.

La Compagnie Hispano-Suiza a construit, dans ses usines de Bois-Colombes et de Barcelone, les modèles les plus divers, dont la description nous entraînerait trop loin; mais nous signalerons un type marin, monobloc de six cylindres verticaux en ligne, qui s'est fait remarquer aux concours de Monaco de 1912 et 1913. (Prix de l'Omnium et des 50 kilomètres.) Notons l'allumage automatique double, à avance variable, avec deux batteries d'accumulateurs de 120 ampères-heures, couplées en quantité, dont le courant est transformé dans deux bobines : elles sont rechargées automatiquement par une génératrice, placée en bout du vilebrequin. Le carburateur est alimenté sous pression d'air; la quantité à admettre est réglée par un boisseau double; un régulateur maintient la constance de la pression de l'air débité par une pompe. La réfrigération du cylindre est toujours assurée par de l'eau douce : le radiateur est refroidi



par une circulation d'eau de mer. Embrayage par cône; changement de marche planétaire, par un différentiel à deux satellites, dont le boîtier est solidaire d'un tambour de frein.

La caractéristique de ces moteurs est en ligne droite de 800 à 1.600 tours, pour 48 à 96 chevaux.

Le moteur d'automobile six cylindres, 32 chevaux, alésage de 100 millimètres, course de 0 m. 140, dont la valeur a été consacrée durant quatre années de service intensif sur tous les fronts, est du même type; l'alimentation du carburateur est effectuée par élévateur d'essence dans un réservoir formant nourrice, placé sur le tablier, du côté de la carrosserie.

### 15. Moteur Lorraine-Dietrich.

La Société Lorraine des Anciens Établissements Dietrich et Compagnie, de Lunéville, s'est taillé une belle et large place dans la construction française des moteurs légers et ultra-légers, de la propulsion sur terre, sur mer et dans les airs, et il nous faudrait disposer de nombreuses pages pour décrire toutes les innovations qui lui sont dues. Ce sont les moteurs d'aviation qui nous occuperont surtout dans cette monographie.

Ces machines sont du type en V, à refroidissement par eau : le modèle de 400 chevaux est formé de 12 cylindres, placés sur deux rangées, dont les axes font entre eux un angle de 60°. Ils ont 120 millimètres d'alésage et 0 m. 170 de course de piston; la vitesse de régime est de 1.500 à 1.700 tours par minute, suivant l'aéroplane auquel ils sont destinés. Les soupapes d'admission et d'échappement sont logées dans les fonds de cylindres et commandées par des culbuteurs actionnés par deux arbres à cames distincts, placés au sommet de deux groupes de cylindres jumelés, dont ils effectuent la distribution. Chacun de ces arbres reçoit son mouvement par l'intermédiaire d'un arbre de distribution, disposé du côté opposé à l'hélice dans l'axe des cylindres, et d'un double jeu de pignons coniques.

L'arbre de couche, à six coudes, présente à sa sortie du carter une partie conique qui porte l'hélice.

Une pompe de graissage, noyée dans le fond du carter, y puise l'huile qui est distribuée sous pression aux divers organes. L'allumage est assuré soit par magnétos à haute tension et distributeurs de courant secondaire, placés en bout de chaque arbre à cames, soit par une batterie d'accus avec transformateur et récepteurs.

La circulation de l'eau de réfrigération est produite par une pompe centrifuge, installée en dessous du carter, du côté opposé à l'hélice; on y adapte un ou plusieurs radiateurs, suivant la demande des aviateurs.



Ajoutons qu'on peut monter sur le bout des arbres à cames un tachymètre et une commande de mitrailleuse.

Ces caractéristiques générales étant connues, nous pouvons entrer dans la

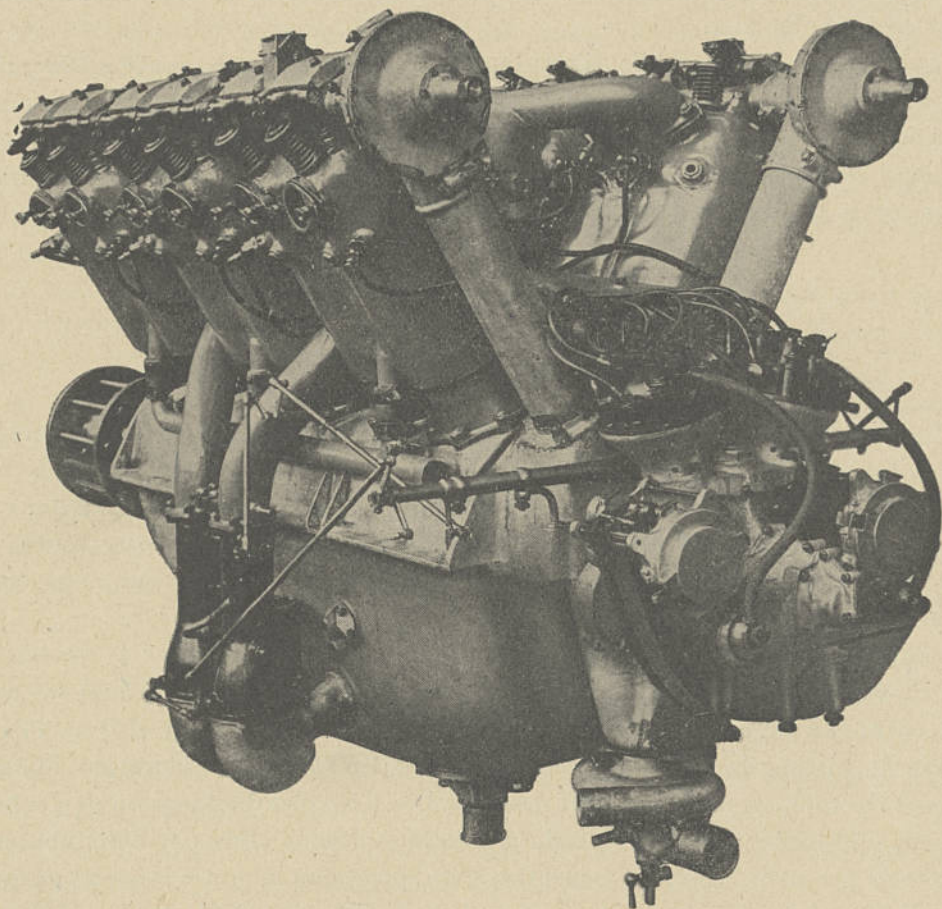


Fig. 304. — Moteur Lorraine-Dietrich.

description de quelques organes particulièrement intéressants et dignes d'attention. La figure 304 facilitera l'intelligence de ce qui va être dit.

Les cylindres sont en acier pris dans la masse, usinés séparément et travaillés sur toutes leurs faces; les sièges des soupapes ont été rapportés dans les fonds. Chaque groupe de deux est enveloppé par une chemise en tôle d'acier soudée à l'autogène.

Les cylindres sont fixés sur les faces supérieures du carter en alliage d'aluminium. Sa partie haute porte quatre reniflards; sa partie basse sert de support aux carburateurs, aux pompes à huile et à eau, au régulateur de pression d'huile et aux magnétos. La partie du carter voisine de l'hélice sert aussi de logement à la butée à billes du vilebrequin, destinée à recevoir la poussée de l'hélice.

L'embellage est d'un système particulier : les deux bielles accouplées des



cyindres se faisant face agissent sur un même maneton, la bielle centrale tou-  
rillonnant directement sur l'arbre, l'autre, à fourche, étant articulée sur elle.  
Elles sont du type tubulaire, en acier matricé.

Le vilebrequin, à six manetons, repose sur le carter par quatre paliers; une  
de ses extrémités présente des cannelures, destinées à l'entraînement du pignon  
de commande de distribution; elle peut aussi recevoir un dispositif de mise en  
marche et de commande de génératrice. Les soies des manetons et des portées  
sont forées, en vue du graissage et, subsidiairement, de l'allègement.

La distribution s'effectue à l'ordinaire; les culbuteurs sont recouverts d'un  
couvercle en aluminium; l'extrémité commandant la soupape est munie d'une  
vis-grain formant poussoir.

Le tableau ci-dessous rend compte du mode de régulation.

|                            | ADMISSION |                                    | DÉCHARGE  |                                    |
|----------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|------------------------------------|
|                            | EN DEGRÉS | EN $\frac{\%}{\text{m}}$ DE COURSE | EN DEGRÉS | EN $\frac{\%}{\text{m}}$ DE COURSE |
| Retard à l'ouverture.....  | 2°        | 0,1                                | .....     | .....                              |
| — à la fermeture.....      | 50°       | 146,7                              | .....     | .....                              |
| Avance à l'ouverture.....  | .....     | .....                              | 50°       | 146,7                              |
| Retard à la fermeture..... | .....     | .....                              | 4°        | 0,2                                |

L'avance à l'allumage est de 26°, soit de 10,9 millimètres. Le jeu entre pous-  
soirs et queues de soupapes est de 0,29 millimètres à l'admission et de 0,40 milli-  
mètres à l'échappement, le moteur étant pris à froid.

La pompe à huile de graissage est à barillet oscillant sans clapet; elle est  
représentée sur la figure 305. Double, mais coulée d'un bloc, elle comporte deux  
barillets *a*, oscillant dans la boîte *b*, laquelle est munie de lumières *c* et *d*, pour  
l'aspiration et le refoulement; les pistons sont montés sur des excentriques  
actionnés par l'arbre de commande. Ce sont des pistons plongeurs *e*. Un filtre *f*  
est installé sur l'aspiration; il offre toutes les facilités pour un démontage fré-  
quent, après chaque vol. Un manomètre, situé sur la tuyauterie de la rampe  
de graissage, marque la pression de l'huile. A froid, au départ, ce manomètre  
indique une pression élevée en raison de la viscosité de l'huile : on doit alors  
faire tourner au ralenti. Mais la pression diminue progressivement, à mesure  
que l'huile devient plus fluide; quand elle est tombée au-dessous de 10 kilo-  
grammes, on peut aborder les vitesses de 1.200 tours sans inconvénient. L'huile  
puisée dans le carter inférieur est refoulée dans un générateur de pression,  
qui régularise le débit. Le liquide arrive sous pression dans l'intérieur du vile-  
brequin, d'où il passe aux têtes de bielle; il est projeté sur la paroi du cylindre,  
recueilli par une gorge creusée dans le piston et dirigé vers l'intérieur de son  
axe.

Il faut assurer la permanence du niveau d'huile dans le carter, quelle que  
soit la dépense; à cet effet, le réservoir d'huile fraîche est relié au moteur par



un dispositif qui rappelle l'abreuvoir des oiseaux et laisse couler du lubrifiant, dès que le niveau est inférieur à la normale.

Deux carburateurs Zénith verticaux à deux corps, montés sur une cuve unique à niveau constant, placés symétriquement de part et d'autre du carter inférieur, alimentent chacun un groupe de six cylindres. Un dispositif de correction breveté réduit le débit d'essence

par les gicleurs, au fur et à mesure que l'avion s'élève dans les airs. On fait emploi d'un double diffuseur pour obtenir une pulvérisation parfaite. La prise d'air présente le minimum de résistance : elle est munie d'un volet que l'on ferme au moment de la mise en route. L'appareil correcteur diminue progressivement la dépression dans le canal allant des gicleurs au cône de diffusion en ouvrant une prise d'air au moment de la montée.

L'allumage est effectué par deux magnétos à haute tension, donnant deux étincelles par tour et faisant donc un tour et demi par révolution du moteur; le courant secondaire est amené à un distributeur monté sur le support des magnétos.

On fait usage aussi de l'allumage Delco, qui emploie une génératrice ou une petite batterie d'accumulateurs (quatre éléments, huit volts), dont le

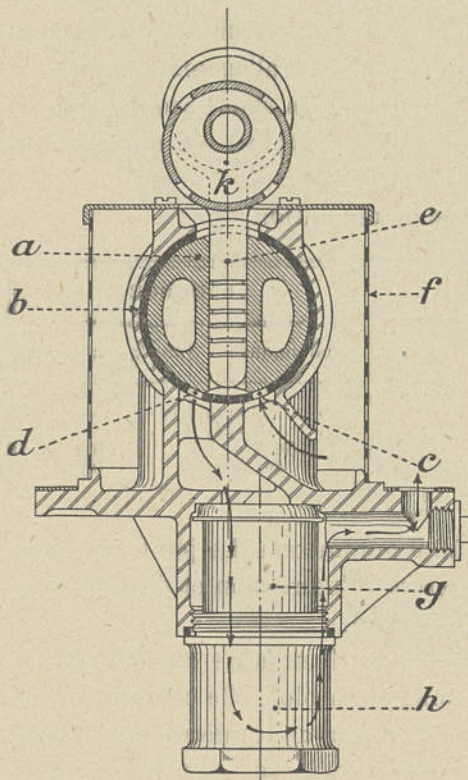


Fig. 305. — Pompe Lorraine.

courant est transformé dans une bobine d'induction, noyée dans l'isolant d'une plaque distributrice. La rupture du courant primaire est effectuée par un double dispositif de rupture, monté en bout de chaque arbre à cames; le courant à haute tension est amené aux bougies au moyen d'un distributeur monté de même. Un des distributeurs alimente les 12 bougies du côté de l'admission, l'autre les 12 bougies du côté de la décharge : un commutateur met en service la batterie seule ou la génératrice, qui charge alors en même temps la batterie.

La rupture est opérée par une came à 12 bossages; par mesure de sécurité, on emploie deux rupteurs, mis en parallèle, et fonctionnant simultanément. L'écartement des vis platinées et des rupteurs est d'au plus 0,3 millimètre. On règle l'avance variable en faisant osciller le boîtier des dispositifs de rupture. Le commutateur comprend un interrupteur double à deux clefs, permettant de faire marcher l'un ou l'autre des distributeurs. A la mise en route, il ne faut



mettre à la position d'allumage qu'une seule clef, celle qui correspond à l'un des distributeurs de courant secondaire.

La circulation d'eau est produite par une pompe centrifuge à grand débit, à double sortie, comportant une seule turbine. Les radiateurs ne présentent rien de spécial à indiquer.

Les moteurs Lorraine ont été soumis à de nombreux essais, qui ont fait ressortir leur excellent rendement thermique. Ainsi que nous l'avons déjà dit précédemment, il est difficile de caractériser la valeur d'un moteur par sa consommation spécifique d'une essence déterminée, alors même qu'on en donne la densité et le pouvoir calorifique, attendu que d'autres éléments interviennent et contribuent à sa bonne utilisation; notamment, il faudrait dresser pour chaque essence des tableaux de distillation fractionnée; une bonne essence doit présenter une courbe de distillation, renfermée entre des limites assez étroites de température. Nous ne pouvons entrer dans le détail de ces considérations qui appartiennent à la technique spéciale des essences. Contentons-nous de signaler quelques chiffres, résultats d'expériences ayant souvent présenté un caractère officiel.

*Moteur 8 cylindres ((poids 242 kilogrammes, carburateur compris).*

|   |                     |
|---|---------------------|
| Alésage.....                                | 120 millimètres.    |
| Course.....                                 | 0 m. 175            |
| Vitesse angulaire.....                      | 1.693 tours-minute. |
| Puissance.....                              | 280 chevaux.        |
| Densité de l'essence.....                   | 0,700               |
| Consommation par cheval-heure effectif..... | 233 grammes.        |
| Température.....                            | 23°                 |
| Pression barométrique.....                  | 766 millimètres.    |
| État hygrométrique.....                     | 0,50                |

La courbe de distillation de l'essence est jointe au procès-verbal.

*Moteur 12 cylindres.*

|   |                     |
|---|---------------------|
| Alésage.....                                | 120 millimètres.    |
| Course.....                                 | 0 m. 170            |
| Durée de l'essai.....                       | 50 heures.          |
| Vitesse angulaire.....                      | 1.703 tours-minute. |
| Puissance.....                              | 411,4 chevaux.      |
| Essence : densité.....                      | 0,695               |
| Consommation par cheval-heure effectif..... | 242 grammes.        |

La Société Lorraine a pris part aux expériences poursuivies au Lautaret, au Galibien et à d'autres stations pour étudier les phénomènes produits aux altitudes élevées, en faisant varier les compressions, les carburateurs et les positions du point d'avance. Ce qui a contribué à donner à ces essais un grand intérêt, c'est qu'on y a soumis à des épreuves comparatives des moteurs Mercedes et Benz pris aux Allemands. Voici quelques extraits des procès-verbaux dressés à la suite de ces épreuves. Il a été démontré que, pour le moteur Benz en parti-



culier, aucune disposition efficace n'était prise pour assurer automatiquement la correction d'altitude, laquelle s'effectuait au contraire très bien pour les moteurs Lorraine. Pour les moteurs allemands, la consommation d'essence a paru proportionnelle à la racine carrée des pressions barométriques; il y a, par suite, excès d'essence à mesure qu'on s'élève; les moteurs français leur étaient supérieurs à ce point de vue, puisqu'ils possèdent un dispositif permettant de ramener la dépense à un taux normal. Un moteur Lorraine a fourni les résultats ci-dessous :

*A Argenteuil*: pression atm. = 757 millimètres.

|                           |              |
|---------------------------|--------------|
| Vitesse.....              | 1.605 tours. |
| Puissance.....            | 250 chevaux. |
| Consommation horaire..... | 92,5 litres. |

*Au Lautaret*: pression atm. = 600 millimètres.

|  |              |
|--|--------------|
| Vitesse.....                             | 1.600 tours. |
| Puissance.....                           | 193 chevaux. |
| Consommation horaire.....                | 78,3 litres. |
| Rapport des pressions barométriques..... | 1,26         |
| — racines carrées des pressions....      | 1,13         |
| — consommations.....                     | 1,182        |

Les ingénieurs de la Société Lorraine ont mis en expérience de nombreuses machines d'autos et d'aviation construites en série; ces épreuves, faites sous le contrôle de l'autorité militaire, servaient d'essais de réception des moteurs. Elles ont fait constater une remarquable homogénéité dans la fabrication en série.

### 16. Moteur Esnault-Pelterie.

Cette machine, présentée par celui qui l'avait créée à ses collègues de la Société des Ingénieurs civils, en décembre 1907, figura au Salon de cette même année et y fit sensation : elle est souvent désignée, dans le style abrégatif en faveur aujourd'hui, par les initiales R. E. P., sous lesquelles elle est très connue.

Reprenant une idée qui avait déjà été appliquée dans la construction des bicyclettes, M. Esnault-Pelterie a disposé ses cylindres en étoile autour de l'axe de rotation du vilebrequin; mais pour ne pas avoir de cylindres placés tête en bas, et éviter les difficultés de graissage qui en résulteraient, il a replié le système rayonnant en deux autour d'un axe perpendiculaire à l'une des branches de l'étoile, et il a obtenu de la sorte une disposition en éventail. Les cylindres forment ainsi deux groupes, disposés l'un devant l'autre de telle façon que chaque cylindre du groupe postérieur se présente dans l'intervalle compris entre deux cylindres du groupe antérieur : nous avons déjà montré que les explosions successives peuvent alors être régulièrement espacées, attendu



que chaque cylindre donne une seule course motrice pendant que le coude de l'arbre effectue deux tours complets. Pour la théorie, on peut supposer que les axes de cylindres rayonnent autour d'un seul maneton. Nous avons dit qu'il faut allumer les cylindres de deux en deux et que le nombre des cylindres doit être impair.

La distribution est effectuée par une came unique portant trois bossages doubles (pour sept cylindres) et tournant en sens contraire du mouvement de l'arbre moteur, à une vitesse six fois moindre. Dans les premiers modèles, l'admission et la décharge s'opéraient par une soupape unique, placée au haut des cylindres, actionnée par un culbuteur, à la façon habituelle. Cette soupape est à double levée avec tiroir. Quand la came amène son premier bossage sous le poussoir du levier de commande, elle fait descendre la tige centrale qui entraîne la soupape, dont les ouvertures annulaires d'échappement sont démasquées par le fait. Les gaz brûlés se déchargent dans l'air. Cela fait, sous l'action d'un plus grand bossage de la came, la soupape descend encore; une collerette, dont elle est munie, obture alors les ouvertures annulaires d'échappement; mais la partie cylindrique supérieure découvre les orifices, qui communiquent avec le carburateur, et l'air carburé envahit le cylindre. L'aspiration faite, la soupape retombe sur son siège. Nous n'insisterons pas davantage sur la description de cet organe, très ingénieux, assurément, mais peu pratique, parce qu'il se déformait sous l'action de la chaleur et cessait d'être étanche. M. Esnault-Pelterie y a renoncé, dès 1911, et ses cylindres portent maintenant deux soupapes, commandées par un basculeur double : une came à rainures anime le poussoir d'un mouvement alternatif. Les soupapes sont inclinées sur l'axe du cylindre et disposées symétriquement par rapport à cet axe.

Chaque éventail a sa bielle, appuyant sur le maneton correspondant de l'arbre; il n'y a donc que deux bielles pour sept cylindres, mais des biellettes s'articulent sur le pied de ces bielles principales. L'arbre porte deux coudes à 180°, aussi rapprochés que le permet le diamètre des cylindres et leur arrangement. La came de commande des soupapes est placée sur le côté opposé à l'hélice, du même côté que le distributeur du courant d'allumage.

Cet allumage est effectué par une bobine en fonctionnement continu; le distributeur, en ébonite, porte autant de plots qu'il y a de cylindres; des touches métalliques viennent prendre contact sur lui. Il tourne deux fois moins vite que le moteur. L'ordre d'allumage est le suivant : 1, 3, 5, 7, 2, 4, 1, et ainsi de suite. A ce courant de haute tension, on pourrait substituer celui d'une magnéto, dont la vitesse serait les 7/4 de celle de la machine.

Le vilebrequin, en acier chrome-nickel, creusé dans les portées qui ne travaillent qu'à la torsion, pèse 2 kg. 500 pour 35 chevaux; les biellettes ont un poids de 105 grammes. Le 5 cylindres (alésage : 110 millimètres; course : 0 m. 160) développe 50 chevaux par 1.000 tours et 60 par 1.200. Le moteur complet pèse 150 kilogrammes en ordre de marche, soit environ 2 kilogrammes par cheval.



Le 7 cylindres de 85/95 fournit 35 chevaux à 1.500 tours : ce modèle était monté sur les avions qui se sont fait remarquer aux essais de Buc et au meeting de Bétheny-Reims.

Disons, pour terminer, que le moteur est desservi par deux carburateurs, affectés l'un à tous les cylindres occupant le côté gauche de la verticale moyenne, l'autre à ceux du côté droit; si l'on avait attribué un carburateur à chaque rangée, on aurait eu des canalisations trop longues.

### 17. Moteur Farcot.

Nombreux sont les modèles établis par cet habile ingénieur : on lui doit plusieurs types en V, en étoile à cylindres horizontaux, à deux cylindres opposés, et enfin à cylindres en éventail.

Le moteur en étoile comporte huit cylindres horizontaux, disposés autour du carter, et groupés par quatre dans deux plans parallèles; on a diminué leur distance verticale en assemblant les têtes de bielles par quatre sur un même maneton et en les déportant légèrement en sens contraire dans chaque groupe. Un ventilateur supérieur distribue l'air également entre les cylindres, un capot formant une base enveloppante.

M. Farcot avait adopté à un moment donné une soupape à double fonction, constituée par une valve ordinaire, surmontée d'un tube évasé en pavillon; un tube central concentrique lui sert de guidage, en même temps qu'il forme canalisation d'amenée pour le mélange tonnant. Le tout est surmonté d'une enveloppe perforée, qui divise les gaz brûlés et éteint leur flamme, en même temps qu'elle remplit l'office de silencieux. A l'aspiration, la collerette supérieure de la soupape ferme le conduit de décharge; l'air carburé traversant la calotte perforée s'y réchauffe, en la rafraîchissant.

Le groupement des cylindres en nombre pair dans un plan horizontal, suivant des angles égaux, équilibrait les masses animées d'un mouvement alternatif et dispensait de l'adjonction de masses supplémentaires; mais il fallait transmettre la puissance à un arbre horizontal, par un renvoi d'angle, ce qui était moins élégant. Un tuyau périphérique mettait en communication la nourrice d'aspiration avec les cylindres. Une pompe assurait le graissage : l'huile, rassemblée au fond du carter, était reprise par une palette, parcourant la cuvette, et lancée dans le fond des cylindres. Ce modèle a été abandonné et M. Farcot paraît aujourd'hui donner la préférence à un nouveau type, à six cylindres en éventail. Dans ces machines, les soupapes sont attaquées directement, sans culbuteur; les soupapes d'admission et de décharge se trouvent sur un même axe vertical, l'une au-dessus de l'autre, la tige de la soupape d'échappement traversant celle d'admission. Les cylindres formant l'éventail sont dans deux plans verticaux parallèles, distants seulement de 50 millimètres l'un de l'autre.



Le volant sert de ventilateur de réfrigération et il projette un vif courant d'air contre les ailettes des cylindres.

### 18. Moteur Bristol.

La *Bristol Aeroplane Co*, anciennement et avantageusement connue dans la construction des avions, s'étant rendue acquéreur des brevets de la *Cosmos Engineering Co*, de Bristol, a établi deux types de moteurs, le Lucifer et le Jupiter, qui méritent de figurer à côté des meilleures créations de nos ingénieurs français.

Le Lucifer, destiné aux appareils moins puissants, est à trois cylindres, en étoile, les axes des cylindres dessinant dans l'espace un V renversé : il réalise surtout les qualités de robustesse et d'endurance. Sa puissance ne dépasse pas 100 chevaux, avec un alésage de 146 millimètres, une course de 0 m. 160 et une vitesse angulaire de 1.600 révolutions par minute. Les cylindres, en alliage d'aluminium, ont une culasse rapportée en même métal, qui porte les soupapes; celles-ci sont commandées par culbuteur, par un arbre à engrenages, réglé au quart de la vitesse. L'hélice tourne au régime du moteur. Les cylindres sont alimentés par une chambre annulaire située à l'arrière du carter, d'où rayonnent trois tubes séparés : carburateur Claudel. Deux pompes à huile, l'une de vidange, l'autre à pression, sont montées sur le couvercle arrière du carter. Ce moteur ne pèse que 136 kilogrammes.

Le moteur Jupiter est en étoile à neuf branches, avec ou sans démultiplication; dans le premier cas, le rapport adopté est égal à 0,656, le moteur faisant 1.600 tours pour 1.050 de l'hélice. Le constructeur s'est fixé le multiple objectif d'une machine puissante, et légère, dont tous les organes soient facilement accessibles; pour ce qui est de la légèreté, il paraît détenir un record, attendu que le poids du moteur non démultiplié, avec ses carburateurs, magnétos et moyeu d'hélice, ne dépasse par 790 kilogrammes.

Les culasses en aluminium sont dessinées pour rayonner le maximum de calorique. Chaque tube d'aspiration se divise en deux en arrivant au cylindre; de même, la décharge s'opère par deux têtes séparées. La chambre d'aspiration a un couvercle annulaire, portant trois carburateurs alimentant, le premier les cylindres 2, 5 et 8, le second les cylindres 3, 6 et 9, le troisième les cylindres 1, 4 et 7. Les cylindres sont ainsi isolés en trois groupes : si un carburateur cesse de donner, les autres peuvent compenser son insuffisance. Des essais ont démontré que l'on peut encore fonctionner avec un seul carburateur, conformément au tableau ci-dessous.

|                     | Nombre de tours. | Puissance.   |
|---------------------|------------------|--------------|
| 3 carburateurs..... | 1.800            | 427 chevaux. |
| 2 — .....           | 1.456            | 232 —        |
| 1 — .....           | 860              | 57,5 —       |



La puissance nominale de 400 chevaux est développée par les neuf cylindres, présentant un alésage de 146 millimètres et une course de 0 m. 190.

Les moteurs à grande vitesse, en étoile, présentent cette particularité que la somme des forces d'inertie et centrifuges est supérieure à celle des forces explosives, surtout aux altitudes élevées, ce qui exige une compensation bien étudiée, pour éviter un surcroît de pression sur la partie inférieure du coussinet de la tête de bielle. La Compagnie Bristol y a pourvu par l'adjonction de contrepoids, qu'elle appelle pendulaires, tournant autour de la partie extérieure de la bielle maîtresse et assemblés, d'autre part, au contrepoids du vilebrequin par une matrice rainurée.

Un aéroplane, propulsé par un Jupiter, pesant 1.270 kilogrammes, avec son pilote, un observateur et deux mitrailleuses, s'éleva à 2.130 mètres en 4<sup>m</sup> 15<sup>sec</sup> et atteignit, à cette altitude, en vol horizontal, une vitesse de 220 kilomètres à l'heure.

Un biplan de chasse Bristol, muni d'une mitrailleuse Dickers, avec tir automatique à travers l'hélice, et une mitrailleuse Lewis, sur pivot, a rendu les plus grands services à l'armée anglaise.

Un aéroplane commercial à 10 places a été mis en fonctionnement récemment : il possède un salon, extrêmement confortable, et un compartiment pour les bagages ; chaque voyageur peut emporter avec lui 22,5 kilogrammes. La provision d'essence est prévue pour 660 kilomètres. La vitesse au ras du sol peut atteindre 196 kilomètres.

Ces aéroplanes sont munis d'un moteur-démarréur, composé d'un petit moteur à deux temps et d'une pompe, qui refoule dans le cylindre du moteur à quatre temps un mélange tonnant tout formé et comprimé, et y fait jaillir une étincelle. Les constructeurs affirment que le départ d'une machine de 500 chevaux, prise à froid, est extrêmement aisé. Le moteur-démarréur peut être mis en route de l'intérieur du fuselage, même pendant le vol.

### 19. Moteur Gobron-Brillié.

Voilà une machine d'un type très spécial, composée de huit cylindres, disposés en X sur deux plans verticaux, chaque cylindre renfermant deux pistons opposés : ces cylindres forment quatre groupes de deux, montés sur un carter central ; quatre bielles attaquent directement un coudé, et quatre bielles de retour un autre. Une traverse réunit les longues bielles de chaque branche de l'X.

Le mélange tonnant explose au milieu des cylindres et, sous son action, les pistons opposés s'éloignent l'un de l'autre, l'un comprimant sa bielle, l'autre tirant sur la sienne. La distribution ne comporte ni engrenages, ni arbre à cames ; les soupapes de décharge sont seules commandées, celles d'aspiration



étant automatiques. Un double culbuteur, placé sous les soupapes d'échappement de chaque groupe, les fait ouvrir successivement à chaque tour de l'arbre. Ces culbuteurs sont solidaires chacun d'une espèce de navette encastrée dans une came-disque à deux rainures, calée au milieu du vilebrequin. Ces rainures sont reliées par un aiguillage, de sorte que les navettes, guidées de l'une à l'autre, passent par chacune d'elles tous les deux tours de l'arbre.

L'allumage est produit par deux magnétos placées sur le plateau avant du carter : elles sont commandées par un seul engrenage hélicoïdal, attaquant à 90° un autre engrenage hélicoïdal, calé sur le bout du vilebrequin ; elles tournent l'une à droite, l'autre à gauche.

Le carburateur est logé entre les cylindres inférieurs ; le chemin parcouru par l'air carburé pour arriver à la chambre d'explosion est le même pour tous les cylindres.

Au point de vue de l'équilibrage des efforts moteurs et de celui des forces d'inertie, les moteurs de ce type présentent des qualités exceptionnelles (1).

## 20. Moteur Knight.

Les distributions par soupapes présentent des inconvénients pratiques, qu'il est difficile de supprimer : les soupapes se déforment aux températures élevées, elles se voilent, se matent et se détériorent, malgré le soin apporté à leur construction et l'emploi de métaux spéciaux ; les soupapes de décharge, qui peuvent être portées à plus de 900°, sont surtout exposées à ces destructions. Elles perdent ainsi rapidement leur étanchéité ; de plus, la dilatation allonge leurs tiges et diminue les jeux de garde, ménagés par la construction et le montage ; le bruit des poussoirs frappant sur les queues des soupapes et des soupapes retombant sur leur siège devient désagréable, surtout aux grandes vitesses pratiquées aujourd'hui ; enfin, il se produit, à ces allures, des retards de fermeture, qui proviennent de ce que la commande des soupapes n'est pas rigide, mais élastique, du fait que l'action d'un ressort intervient toujours dans leur fonctionnement. Terminons en disant que l'accroissement des vitesses linéaires du piston exigeait, plus impérieusement qu'autrefois, les grandes levées de larges soupapes, pour lesquelles tous les inconvénients ci-dessus s'aggravaient de jour en jour.

La constitution de moteurs *sans soupapes* devint le rêve des inventeurs, qui n'espéraient pas en tirer un avantage théorique, mais poursuivaient uniquement des perfectionnements d'ordre mécanique et pratique.

Ils avaient à choisir entre de nombreux moyens, employés depuis longtemps en machine à vapeur : tiroirs plats ou cylindriques, pistons-valves, robinets

1. Nous devrions une monographie aux marques Dutheil et Chalmers, Darracq, Sicère, Coudert, Clément-Clerget, etc., qui ont cherché une solution de l'ultra-léger dans la disposition horizontale des cylindres ; mais nous sommes obligés de nous limiter dans cette catégorie, comme dans toutes les autres.



avec boisseaux tournants, glissières de toute espèce, dans lesquelles l'étanchéité de pièces qui portent l'une sur l'autre est assurée par leur rectitude, leur étendue et leur graissage. Toutefois, il y avait à tenir compte d'une différence essentielle entre la machine à vapeur et les moteurs à combustion interne, attendu que dans la première la pression exercée par l'extérieur applique l'obturateur sur sa glace, tandis que dans les autres la tension des gaz se développe à l'intérieur même des cylindres et tend, par suite, à soulever les obturateurs appliqués sur les orifices des cylindres.

Il fallait donc chercher à obtenir et maintenir une grande étanchéité de ces joints mobiles, en inversant la position des obturateurs sur leurs bases, tout en diminuant les frottements et en assurant la parfaite lubrification des surfaces en contact.

On eut d'abord l'idée, reprise de Niel et des autres, de recourir aux robinets tournants ou oscillants; en effet, l'étanchéité d'un boisseau dans un logement cylindrique ou très légèrement conique peut être satisfaisante et durable, si les surfaces en contact sont géométriques, bien travaillées et soigneusement rodées, si elles présentent un jeu minime et si elles sont toujours suffisamment lubrifiées : ce dernier point est important, car il faut écarter toute possibilité de grippement. Il est nécessaire de laisser quelque jeu à ces organes, mais celui-ci ne doit point dépasser quelques centièmes de millimètre; les surfaces de joint présenteront une étendue suffisante pour diminuer la pression par unité de surface, faciliter l'accès de l'huile et réduire l'usure; on a de la marge à cet égard, même dans les constructions les plus légères. Les roulements à billes donneront d'excellents résultats, attendu que les frottements sont pour ainsi dire indépendants de la pression; il n'y a de précautions à prendre que pour empêcher un échauffement anormal.

Ce n'est pourtant pas cette solution du problème qui a conduit au succès le moteur sans soupapes, le *Valveless*. M. Knight a donné la préférence aux fourreaux cylindriques. A l'apparition de son moteur au Salon de 1910, son invention fit sensation, par sa simplicité apparente, le beau rendement qu'elle possédait et son fonctionnement remarquablement silencieux. Si elle trouva d'emblée des admirateurs convaincus, elle rencontra aussi de nombreux détracteurs, qui objectaient une usure rapide et un manque d'étanchéité inévitable, par suite des difficultés grandes de graissage et de refroidissement : on prédisait des détériorations prochaines, qui ne tarderaient pas à mettre à néant les espérances conçues à la suite des premiers essais. Les pessimistes eurent tort dans la circonstance : le moteur Knight se comporta bien à l'épreuve du temps et, dès 1912, il avait déjà de nombreux licenciés ou imitateurs (1).

Ce qui avait sans doute décidé M. Knight à adopter les manchons cylindriques

1. Citons les firmes Ariès, Clément-Bayard, Daimler, Grégoire, Mercédès, Minerva, Mors, Panhard et Levassor, etc.; nous les rangeons par ordre alphabétique. Les autres solutions des *valveless* avaient eu beaucoup moins de succès et comptaient déjà de nombreuses défections parmi leurs adhérents de la première heure.



glissant l'un dans l'autre et l'un sur l'autre, c'était l'expérience acquise dans la construction des pistons. Des segments étroits et élastiques les enveloppent d'une ceinture imperméable; on donne à ces garnitures la bande qui convient; on les construit en métaux appropriés (fonte, acier ou bronze), assez durs pour être susceptibles d'un beau poli, assez doux pour ne pas rayer la paroi intérieure du cylindre; on leur laisse, dans les rainures qui leur servent de siège, la liberté nécessaire à leur action; voilà de quoi obtenir une étanchéité excellente et durable. Pour ce qui est du graissage, on le fait sous pression le plus souvent; les segments s'y prêtent bien; en creusant des pattes d'araignée dans le bloc, on assure une répartition régulière de l'huile.

D'autre part, ce système débarrasse le moteur de tous les organes extérieurs nécessités par le service de la distribution : on ne voit plus sur le cylindre aucune pièce en mouvement et, comme tout le mécanisme restant est enfermé dans le carter, le moteur prend l'apparence d'une simplicité extraordinaire. Il est, de plus, remarquablement silencieux et possède un bon rendement ainsi que nous le verrons. Il n'en fallait pas davantage pour réussir, en automobilisme et en aviation.

Le cylindre est percé, à sa partie supérieure, de deux orifices latéraux, en regard l'un de l'autre, auxquels aboutissent les tuyauteries d'aspiration A (fig. 306) et d'échappement E. D'autre part, il est fermé en haut par une sorte de piston fixe B, d'un diamètre plus petit que le piston P, laissant place entre lui et le corps cylindrique à une double chemise intérieure, qui se meut dans le cylindre et dans laquelle se meut le piston.

Ces manchons *m* et *n* concentriques sont eux aussi percés de deux orifices, mais dont la position n'est pas la même; les lumières de *n* sont à la même hauteur, tandis que celles de *m* ne sont plus de niveau, la lumière tournée vers A étant plus haut que celle vers B. Ces deux manchons sont animés d'un mouvement alternatif, communiqué par les excentriques montés sur l'arbre de distribution C; la périodicité du mouvement est la même, mais non la phase.

Cela posé, il est aisé de se rendre compte du fonctionnement. Commençons par le premier temps, celui d'aspiration; les deux ouvertures des manchons coïncident sur la gauche; l'appel du piston qui descend aspire le mélange tonnant dans le cylindre. En même temps que le piston parcourt sa course descendante, *n* monte et *m* le suit, avec retard : le piston étant arrivé au bas de sa course, le cylindre est fermé et la compression est effectuée par la montée du piston.

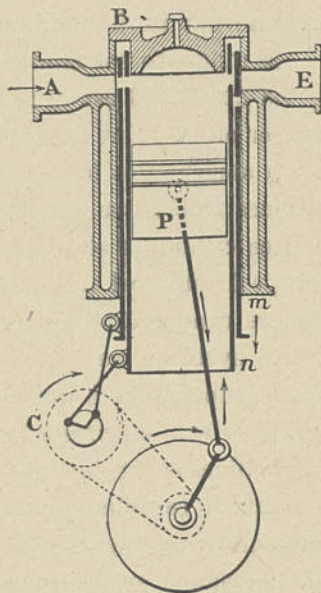


Fig. 306. — Cylindre Knight.



Quand l'explosion se produit, et que la détente continue de pousser le piston de haut en bas, au troisième temps du cycle, les chemises maintiennent la fermeture des orifices, jusque vers la fin de cette phase; mais alors leurs ouvertures viennent en correspondance sur la droite et la décharge se fait avec l'avance prévue par le réglage des excentriques C. Les gaz brûlés s'échappent par E. Les manchons obturent cette canalisation à la fin du quatrième temps.

Le mouvement de ces chemises est déterminé par des biellettes, partant des colliers d'excentriques dont l'arbre tourne à demi-vitesse; il est commandé par une chaîne à maillons.

La magnéto est commandée de même.

La culasse B est munie de segments, que le dessin n'a pu représenter, pour assurer en ce point l'étanchéité des fourreaux; des rainures à huile sont creusées sur la surface des fourreaux, pour faire pénétrer le lubrifiant entre ces grandes surfaces frottantes, qui présentent le point faible de cette construction.

Les cylindres sont généralement disposés par quatre, en ligne verticale; la pompe à huile est installée au fond du carter; les têtes de bielle sont munies de cuillers ramassant l'huile. L'extrémité du vilebrequin peut recevoir un volant.

Le système de ces deux cylindres, couissant l'un dans l'autre, dérive des tiroirs superposés à deux excentriques, depuis longtemps employé en machines à vapeur et il en présente tous les avantages. Comme rien n'empêche de donner aux orifices d'entrée et de sortie la section que l'on veut, il n'y a plus de laminage des gaz; le remplissage de la cylindrée est parfait et il en résulte que la pression moyenne au diagramme peut atteindre 8 kilogrammes par centimètre carré. La puissance spécifique augmente par le fait même; un Knight-Panhard de 105 d'alésage et 0 m. 140 de course a fourni 70 chevaux par 1.900 tours; un autre de 95 et 0 m. 150, poussé à 2.800 tours, aurait développé plus de 100 chevaux. Sur les voitures, le succès n'a pas été moindre : on a relevé une dépense de 540 grammes pour une voiture portant un moteur de 105 millimètres d'alésage et 0 m. 140 de course. Les moteurs Knight joignent à ces avantages techniques le privilège, plus apprécié peut-être de la clientèle mondaine de l'automobilisme, d'être admirablement silencieux.

## 21. Moteur Argyl-Mac Collum.

C'est un perfectionnement, dit-on, apporté au moteur précédent, que de faire la distribution au moyen d'un seul fourreau, au lieu de deux; ce fourreau est animé à la fois d'un mouvement vertical et d'un mouvement de rotation; il en résulte un mouvement louvoyant, chaque point du cylindre distributeur décrivant une ovale. Il est actionné par une biellette, commandée par deux vilebrequins latéraux entraînés par le vilebrequin du moteur au moyen d'une chaîne silencieuse Morse. Au moment de l'explosion, le fourreau se trouve au point



le plus haut de sa course; ses lumières sont alors masquées par la culasse. Au temps suivant, la lumière est amenée en face de l'orifice de décharge.

Les inventeurs du système revendiquent l'avantage, qu'on ne peut guère leur refuser, d'un graissage plus facile de leur fourreau unique que de deux fourreaux; le mouvement louvoyant peut aussi contribuer à une meilleure répartition des huiles de graissage. Ces huiles sont distribuées aux divers organes par une circulation complète, comme pour les moteurs d'aviation. Le pied de bielle reçoit de l'huile par la bielle, qui est creuse.

L'huile est renfermée dans un réservoir installé dans l'auvent du tablier de l'auto; la pompe est placée en un point bas. Le carter inférieur ne contient plus d'huile, ce qui permet un meilleur refroidissement de l'agent lubrifiant.

L'allumage est obtenu par une magnéto Scintilla, de fabrication suisse : elle tourne à la vitesse du moteur, entraînée par une chaîne silencieuse. Ce type de magnéto présente la caractéristique suivante : ce sont les aimants qui tournent, les bobinages et le rupteur du primaire restant fixes. On prétend qu'il vaut mieux de constituer le rotor par les pièces les moins compliquées.

Ce moteur est monté sur les voitures Piccard, Pictet et C<sup>ie</sup>, de Genève, qui sont appréciées.

## 22. Moteur Gnôme.

Le moteur Gnôme rotatif de 50 chevaux à 7 cylindres, de M. Séguin, a fait son apparition au Salon de 1907; à la Semaine de Reims, de 1909, un 14 cylindres de 100 chevaux monté sur un monoplan Blériot, monté par Morane, enlevait tous les suffrages : c'était le moteur qui paraissait alors le mieux approprié à l'aviation. Il a perdu du terrain au cours de la guerre. Et pourtant, il faut reconnaître encore qu'aucun moteur ne dépasse les moteurs rotatifs, au double point de vue de la rapidité de mise en marche, au moment de l'envolée, et de la durée de fonctionnement en pleine charge, quelle que soit l'altitude. Un aéroplane, muni d'un Gnôme, part au commandement, ce qui est une qualité remarquable au point de vue militaire, et il tient l'air dans des conditions remarquables, pour ce qui est du refroidissement des cylindres et de l'équilibrage des pièces mobiles.

On reproche aujourd'hui, avec plus ou moins de raison, aux rotatifs, des difficultés de graissage des pistons, leur consommation d'huile et d'essence, les effets gyroscopiques qu'ils produisent, parfois dangereux pour la solidité de l'avion, toujours gênants pour sa conduite, etc. Nous verrons ce qui a été fait pour obvier à ces inconvénients.

Un défaut générique de ces machines, inhérent à leur constitution même, subsistera toujours; c'est la pression considérable exercée sur la paroi du cylindre, normalement à son axe; cette pression est d'autant plus énergique que la vitesse



du piston est plus grande et la bielle plus courte, relativement au rayon du coudé. Il en résulte une ovalisation rapide du cylindre, avec toutes ses fâcheuses conséquences.

Le moteur Gnôme a pris des formes diverses, que nous ne pouvons décrire toutes : nous nous bornerons à étudier les modèles qui sont restés plus longtemps en service.

Leur principe est toujours le même : les cylindres tournent autour d'un arbre fixe : c'est sur le bloc, formé par ces cylindres et par le carter tournant qui les porte, que l'on recueille la puissance disponible. Les pistons et les bielles participent évidemment à la rotation des cylindres ; mais leur centre de rotation est excentré, puisqu'il est situé sur le maneton du coudé immobile. Il résulte de ce décentrage que des cylindres glissent sur les pistons, comme une bague le long du doigt, a-t-on dit ; l'image est heureuse (fig. 307).

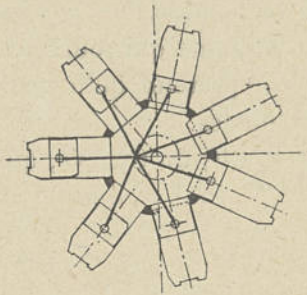


Fig. 307. — Moteur Gnôme.

La pression exercée par les explosions se décompose en deux forces, une force axiale, détruite par la rigidité de la bielle, et une force tangentielle, agissant sur la face latérale des cylindres, qui entretient leur rotation : c'est cette dernière, par conséquent, qui fournit le couple moteur.

La coupe de la figure fait voir que les positions extrêmes de la course des pistons dans les cylindres sont diamétralement opposées, donc à  $180^\circ$  l'une de l'autre. Pour deux tours des cylindres autour de l'axe de l'arbre, il y a deux tours des bielles autour du maneton, sur lequel elles sont articulées, et les pistons ont effectué les deux allées et venues nécessaires à l'accomplissement des quatre temps. Tous les cylindres travaillent dans les mêmes conditions et leurs actions se totalisent.

La vue extérieure du moteur (fig. 308) montre qu'il actionne directement l'hélice, fixée sur la flasque arrière du carter, souvent en porte-à-faux. Les cylindres se refroidissent par leur mouvement dans l'air ; ils sont pourvus d'ailettes, mais les Américains les suppriment souvent.

Le premier modèle avait reçu le nom d'Oméga ; croyait-on qu'il ne serait suivi d'aucun autre ? Il comportait sept cylindres, formant une étoile régulière ; dans ce type, six bielles sont articulées sur une septième, qui est une bielle maîtresse, pivotant sur le maneton par un roulement à billes.

Le vilebrequin, formant axe principal, est creux et il sert de tuyau d'amenée au mélange tonnant, en même temps qu'il livre passage aux tuyaux de graissage, portant l'huile aux pistons et aux roulements.

La rotation des cylindres produit un effet de ventilateur centrifuge, aspirant les gaz du carburateur et les refoulant vers le fond des cylindres ; ils y pénètrent en traversant les pistons, lesquels portent en leur centre une sou-



pape automatique d'aspiration, qui permet au mélange tonnant de passer du carter au cylindre, lors de la descente du piston, donc au premier temps. Pour que la force centrifuge n'ouvre pas les soupapes, elles sont appuyées sur leur siège par un ressort; mais de plus, elles sont soigneusement équilibrées. Aux temps suivants, de compression, d'explosion et de décharge, les forces d'inertie se joignent aux pressions qu'elles supportent pour les rendre étanches. Il est à remarquer que la force centrifuge contribue à former des cylindrées complètes, ce qui est un sérieux avantage du système : le carter constitue, du reste, une sorte de gazomètre, rempli d'une réserve de gaz. Pour utiliser la haute température qui s'y développe, on y injecte quelquefois directement l'essence.

Les soupapes d'échappement sont actionnées par culbuteurs; la force centrifuge assure leur fonctionnement et leur fermeture complète. Sept comes les commandent par traction; il y en a une par cylindre, calée sur la douille de distribution tournant à une vitesse deux fois moindre que celle du moteur.

L'allumage se fait par magnéto à haute tension : elle doit fournir sept étincelles tous les deux tours, comme elle ne donne que deux étincelles par tour, soit quatre pour deux tours, ce qui suppose un rapport de vitesses égal à 7. La magnéto fait, par conséquent, sept révolutions pour quatre de la machine. Un distributeur en ébonite porte sept plots isolés l'un de l'autre et de la masse, chaque plot étant dans l'axe du cylindre correspondant. Le courant secondaire de la magnéto passe par les plots, reliés à la bougie d'allumage par un fil conducteur.

Les pistons des cylindres ne sont pas garnis de segments, mais d'un obturateur de laiton, fonctionnant à l'instar d'un cuir embouti, maintenu dans sa rainure par un segment de fonte.

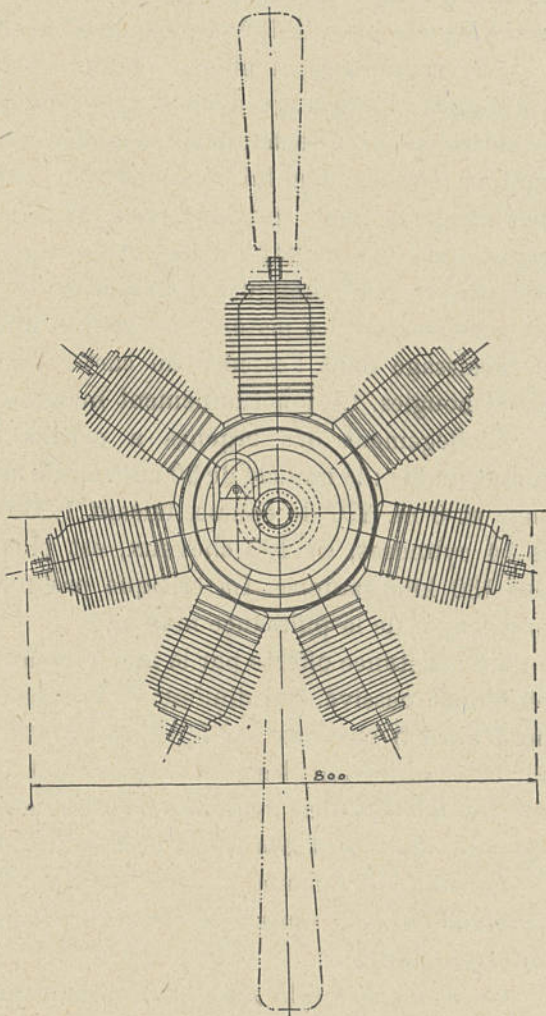


Fig. 308. — Moteur Gnôme.



La pompe à huile est double, étant constituée de deux parties accolées l'une à l'autre; aspirante et foulante, elle alimente deux circuits inégaux; elle ne comporte ni clapets, ni billes et son fonctionnement est sûr. Le graissage se fait à l'huile de ricin, dont la viscosité se modifie peu avec la température, reste liquide jusqu'à 15° et possède d'excellentes qualités lubrifiantes.

Le carburateur, à gicleur réglable par pointeau et à prise d'air variable, est simple; le mélange devient très homogène, par le brassage qu'il subit dans le carter et par le réchauffement modéré qui s'y fait : c'est un des avantages du moteur Gnôme. On lui reproche, par contre, quelques défauts, qu'il ne faut pas exagérer, mais qui sont réels. Il s'use rapidement et exige de fréquentes réparations; la soupape d'aspiration dont le ressort est taré pour une vitesse déterminée peut manquer d'étanchéité et donner lieu à des retours de flamme au carburateur; les pistons eux-mêmes fuient souvent. La dissolution de l'huile de graissage dans l'essence du carter produit des encrassements de soupapes et de bougies. Le fonctionnement manque de souplesse.

L'allègement des organes a permis d'atteindre une légèreté spécifique remarquable : le modèle de 50 chevaux à sept cylindres de 110 millimètres d'alésage et 0 m. 120 de course, faisant 1.200 tours, ne pèse que 76 kilogrammes; le 14 cylindres, de 100 chevaux, est plus léger encore; son poids ne dépasse pas 130 kilogrammes. La critique prétend qu'on eût mieux fait de moins se préoccuper de la puissance massique.

La résistance offerte par le mouvement des cylindres dans l'air constitue une résistance passive, qui diminue le rendement organique : pour 7 cylindres, on perd ainsi 5 chevaux sur 50. Cela paraît considérable, mais on a trop insisté sur cette objection; les ventilateurs dont on se sert communément pour lancer sur les ailettes des cylindres de l'air, animé d'une vitesse de 30 mètres par seconde, absorbent beaucoup de travail aussi.

Le moteur Gnôme a reçu bientôt d'importants perfectionnements, qui devaient corriger dans une certaine mesure les défauts que la pratique avait fait reconnaître.

On a renoncé à la soupape automatique, logée dans le piston. La distribution a été effectuée pour chaque cylindre par un piston-valve travaillant dans un fourreau, servant à l'échappement par sa partie externe, à l'admission par sa partie interne, et relié au carter par un tube. Cette construction a été développée postérieurement et nous y reviendrons.

La puissance des moteurs a été portée à plusieurs centaines de chevaux et la consommation d'essence a pu être légèrement abaissée.



### 23. Moteur Le Rhône.

Il a été construit trois types de cette marque, tous les trois à 9 cylindres présentant les puissances et dimensions ci-dessous :

|                               |              |              |              |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Puissance en chevaux.....     | 80           | 110          | 135          |
| Alésage des cylindres.....    | 105 mm.      | 112 mm.      | 112 mm.      |
| Course des pistons.....       | 0 m. 140     | 0 m. 170     | 0 m. 170     |
| Compression volumétrique..... | 5 kg.        | 5 kg.        | 5 kg.        |
| Vitesse de régime.....        | 1.200 tours. | 1.200 tours. | 1.290 tours. |
| Poids par cheval.....         | 1 kg. 570    | 1 kg. 475    | .            |

La consommation d'essence par cheval-heure a été abaissée à 247 grammes, celle d'huile à 54 grammes, pour le moteur de 110 chevaux.

Chaque cylindre porte deux soupapes identiques, l'une pour l'admission, l'autre pour la décharge, inclinées l'une vers l'autre, leurs axes se coupant au centre de rotation, pour que la force centrifuge agisse normalement sur elles; elles s'ouvrent de l'extérieur à l'intérieur, de sorte que la force centrifuge ajoute son action à celle des ressorts. Elles sont commandées alternativement par un basculeur oscillant. Les gaz y arrivent au cylindre par une tubulure courbe, formée de deux parties qui s'emmanchent l'une dans l'autre, avec joint en cordon de caoutchouc. Les pistons en aluminium ont tous exactement le même poids; ils portent quatre segments en acier rapide. Les bielles sont de trois sortes, à petit, moyen et grand talon; ce talon coulisse dans une rainure pratiquée dans les coquilles de la tête de bielle; les bielles sont de longueurs différentes selon le genre de talon.

Les cames de distribution comportent cinq profils qui, combinés avec l'excentrage du maneton, actionnent les neuf basculeurs.

L'allumage est effectué par un distributeur à neuf plots, sur lesquels frotte un charbon relié par un fil conducteur à la bougie du cylindre correspondant.

La pompe à huile est à tiroir oscillant; le liquide est distribué aux organes comme dans le Gnôme.

### 24. Moteur Gnôme-Rhône.

Ce moteur est né de l'association de deux maisons : il est connu sous le nom de « monosoupape ».

L'arbre creux et le carter forment une chambre étanche, à laquelle l'essence est amenée par un tube terminé par un gicleur; il n'y a plus de soupape d'admission, le mélange entrant dans le cylindre par des ouvertures latérales, pratiquées à la base du cylindre et découvertes quand le piston est arrivé au bas de sa course. Un renflement du carter permet aux gaz de passer du carter dans



le cylindre. La soupape d'échappement commandée est placée au fond du cylindre et dans son axe.

Le carburateur est donc remplacé par une tuyauterie dans laquelle une pompe réglable injecte l'essence : ce moyen de réglage est complété par un appareil original, appelé sélecteur, qui coupe l'allumage à intervalles plus ou moins espacés. Ce dispositif permet d'obtenir un bon ralenti : il se compose d'un tambour cylindrique en bronze, tournant quatre fois moins vite que la magnéto ; comme celle-ci donne deux étincelles par tour, et que chaque cylindre n'exige d'étincelle que tous les deux tours, un tour de tambour correspond à huit allumages, soit au passage de 16 cylindres. Ce tambour est divisé longitudinalement en quatre zones, à chacune desquelles correspond une borne isolée et un frotteur en charbon ; le bronze est à la masse. La première zone est divisée angulairement en huit parties égales ; la seconde en deux parties diamétralement opposées ; la troisième ne porte plus qu'une section et la quatrième aucune. Suivant les liaisons de la magnéto avec les bornes réparties sur un combinateur, disposées en face de celles du sélecteur, on aura tous les allumages, ou 6 sur 8, ou 2, ou encore 1 sur 8, ou bien aucun allumage.

Les inventeurs font remarquer que leur cycle comprend six phases distinctes ; l'admission d'air, celle d'un gaz riche, la compression, l'allumage suivi d'explosion et la détente : c'est une manière de coordonner la suite des phénomènes que de les subdiviser ainsi en temps inégaux. Par neuf cylindres (115 millimètres sur 0 m. 170), compression 5 kg. 4, 1.380 révolutions par minute, on développe 170 chevaux et l'on ne consomme plus que 265 grammes d'essence par cheval-heure. Ce moteur pèse 165 kilogrammes. Ces résultats sont extrêmement intéressants.

## 25. Moteur Clerget-Blin.

M. Clerget était connu dans la construction des automobiles par un 4 cylindres en ligne, qui avait pu être monté sur des monoplans Hanriot ; il avait, plus tard, établi un modèle à huit cylindres en V, de 200 chevaux, caractérisé par un dispositif de décalage angulaire de l'arbre à cames, permettant de régler la vitesse. Cette machine était extrêmement légère. On doit au même ingénieur un moteur à 7 cylindres horizontaux rayonnants, établi avec la collaboration de M. Clément : trois bielles principales y supportaient quatre bielles auxiliaires. La distribution était effectuée par une came centrale, tournant huit fois moins vite que le moteur, portant quatre bossages pour les levées de décharge et autant d'encoches pour celles d'admission : des taquets, actionnés par cette came, font mouvoir un balancier, attaquant par ses deux extrémités les deux soupapes, disposées obliquement sur le fond de la culasse ; ces soupapes sont rappelées sur leurs sièges par des lames de ressort.

L'activité de M. Clerget s'est exercée plus tard sur les moteurs rotatifs :



MM. Clerget et Blin ont tour à tour construit des modèles de 7, 9 et 11 cylindres, de 60, 130 et 200 chevaux, ayant même alésage de 120 millimètres, mais des courses de 0 m. 120, 0 m. 160 et 0 m. 190, avec des vitesses passant de 1.200 à 1.300 tours par minute; la consommation du dernier type a été trouvée égale à 265 grammes d'essence par cheval-heure.

La distribution est d'un modèle nouveau : elle se compose de deux dispositifs identiques pour l'admission et l'échappement. Chacun de ces dispositifs comprend une couronne dentée tournant avec le moteur et présentant autant de taquets qu'il y a de cylindres, et un engrenage intérieur, monté excentriquement, solidaire d'une came, dont les bossages agiront sur les taquets. Prenons comme exemple le moteur à 11 cylindres. La couronne dentée porte 44 dents et le pignon, lié à la came à cinq bossages, en porte 40 : faisons accomplir un tour à la couronne; le pignon s'est alors développé de 44 dents dans la couronne et il a fait  $\frac{44}{40}$  de tour, soit un tour plus  $\frac{1}{10}$  de tour. Le taquet, qui était en prise avec le premier bossage, aura fait pendant ce temps un tour complet, mais il tombe maintenant entre le premier et le second bossage, puisqu'un dixième de tour représente la moitié de l'intervalle séparant les axes de deux bossages consécutifs. Au second tour, le pignon gagne encore un dixième; le taquet se trouve alors en prise avec le deuxième bossage de la came qui aura accompli avec le pignon deux tours plus  $\frac{2}{10}$ . C'est précisément la longueur qui correspond à 11 bossages distribués sur la périphérie pour deux tours de la couronne et du moteur. C'est ce qu'il fallait pour obtenir une levée de taquet tous les deux tours. Remarquons, en outre, que la distance comprise entre deux taquets étant du onzième du développement de la couronne, donc de quatre dents, alors que l'intervalle des bossages du pignon est de huit dents (le cinquième de sa circonférence), les taquets sont touchés par les bossages de deux en deux, de sorte que l'ordre de distribution se trouve être 1, 3, 5, 7, 9, 11, 2, 4, 6, 8 et 10.

Ce qui vient d'être dit de l'admission s'applique entièrement à l'échappement; mais le calage de l'excentrique est inverse, par rapport au premier.

Un détail est à relever : la soupape d'échappement est placée en avant de celle d'admission, dans le sens de la rotation, pour faciliter son refroidissement.

L'étanchéité des pistons est assurée par quatre segments, dont le premier, fait en un laiton spécial argentifère, est double, les autres étant en fonte, à faible tension, d'au plus 25 grammes par millimètre carré, pour permettre un bon graissage. Les soupapes et leurs mécanismes de commande sont équilibrés.

La pompe à huile est à débit réglable; elle est actionnée par un pignon engrenant avec une roue dentée, montée sur un axe horizontal muni d'une vis sans fin; le piston de la pompe donne sept foulées pour 100 tours du moteur. L'arbre de commande porte un excentrique, glissant sur un épaulement, grâce auquel la course est variable, suivant la position d'une vis de butée.



## 26. Moteur Salmson.

Ce moteur, connu aussi sous le nom de Canton-Unné, a été construit avec grand succès à plusieurs milliers d'exemplaires, pour les besoins de l'aviation militaire, et il a été adopté depuis lors par nos grandes Compagnies de Navigation Aérienne; en 1921 et 1922, il a remporté le premier prix de l'Aéro-Club de France.

Divers modèles ont été créés, parmi lesquels nous signalerons plus particulièrement un type fixe, en étoile, à 9 cylindres rayonnants, dont les caractéristiques présentent le plus grand intérêt. Les cylindres mesurent 125 d'alésage avec une longue course de 0 m. 170 : la vitesse de régime normal de 1.500 tours par minute permet de développer 230 chevaux, mais on peut atteindre 275 chevaux par 1.600 tours. Ce moteur est surcomprimé, et l'on tourne au sol à pleine admission limitée; l'admission devient totale à partir de 2.000 mètres d'altitude. Les cylindres, situés dans un même plan, perpendiculaire à l'axe, sont emboîtés par leur base dans un carter en deux pièces. Le carburateur est réuni par deux conduites de réchauffage au collecteur des gaz, duquel partent les 9 tubes d'aspiration allant aux soupapes d'admission; 9 autres tubes d'échappement conduisent les gaz brûlés au collecteur de décharge, disposé en couronne en avant des cylindres. Les soupapes sont commandées par tiges et leviers extérieurs. L'allumage est effectué par deux bougies par cylindre et deux magnétos Salmson indépendantes.

Cette remarquable machine consomme 235 grammes d'essence par cheval-heure, mais on a relevé en essais des dépenses de 200 grammes.

En accouplant deux groupes en étoile de 9 cylindres, on a établi un type à 560 chevaux.

## 27. Moteur Laviator.

C'est une application des deux temps aux moteurs rotatifs : en principe, elle est contestable, car les deux temps perdent leurs avantages dans les machines polycylindriques, et ils présentent le désavantage marqué d'un rendement médiocre. On peut plaider, il est vrai, en leur faveur, une grande simplicité d'organes et d'agencement. Le moteur Laviator présente, d'autre part, une remarquable ingéniosité, qui nous paraît valoir une description.

Cette machine comporte trois cylindres, en étoile, à la base desquels sont montées trois pompes, d'alésage double. Le cylindre moteur présente à sa partie basse deux orifices, placés en regard; l'un, *a*, débouche à l'air libre; l'autre, *b*, communique par un tuyau avec la pompe du groupe précédent; le piston moteur découvre ces orifices, quand il arrive au point mort inférieur. La pompe



présente elle-même une lumière, la faisant communiquer avec le carter, quand son piston occupe sa position inférieure. Le mélange tonnant vient du carburateur au carter.

Cela posé, voici comment fonctionne la machine. Le piston moteur est descendu au point bas sous l'impulsion de l'explosion; les gaz brûlés s'échappent par *a*; par *b* arrive une charge de mélange frais, qui expulse ce qui reste de gaz brûlés et balaie le cylindre moteur. En remontant, le piston masque l'orifice *a* et *b*, et il comprime le mélange qui est allumé en temps voulu et explose dans le cylindre. C'est vraiment le plus simple des mécanismes que l'on puisse imaginer.

### 28. Pompe à essence A. M.

C'est l'œuvre de MM. Martin et Bernard.

Dans les aéroplanes, la réserve d'essence est le plus souvent située, par raison d'équilibre, au-dessous des carburateurs, et l'essence doit être élevée par une pompe, jouant l'office d'un exhausseur. Pour éviter au pilote d'avoir à ajouter le soin et la surveillance de cet appareil aux nombreux soucis qui assiègent son esprit, il est désirable qu'il soit automatique : c'est ce qu'ont réalisé les inventeurs de la pompe A. M.

Imaginons une enceinte fusiforme rigide, renfermant une seconde enceinte plissée en accordéon, donc extensible sous l'action d'un organe intérieur, mû par l'extérieur. Cet organe, c'est une came, mobile dans un cadre, et lui communiquant un mouvement de va-et-vient. L'enceinte extérieure porte deux soupapes, une d'aspiration, débouchant vers la réserve, l'autre de refoulement, vers le carburateur; les changements de volume de l'accordéon produisent l'effet d'un piston animé d'un mouvement alternatif dans un cylindre, donc aspirant et foulant. Comment cette pompe a-t-elle un fonctionnement automatique?

C'est par le jeu d'un ressort antagoniste du mouvement du cadre. Lorsque la pompe refoule plus d'essence que le carbure ne doit en recevoir, elle s'engorge, et, en vertu de l'incompressibilité du liquide, le ressort se bande. Or, il agit de telle sorte que la came perd alors le contact du cadre, et celui-ci reste immobile. On peut donc régler une fois pour toutes le débit de la pompe, en donnant au ressort la tension convenable. Il se charge de la maintenir automatiquement.

Cette pompe, qui figurait au Salon de 1921, a été montée sur les avions Bréguet, Spad, Caudron, Farman, Letord, Sopwith, Lévy, etc. : ce sont de sérieuses références, signalées dans le prospectus qui m'a été remis.

J'y trouve également les diagrammes comparatifs des débits maximum de pompes de divers systèmes à différentes altitudes; ils ont été relevés en mai-juin 1918, dans la chambre à dépression de l'Institut Aérotechnique de Saint-Cyr. Alors que, pour une pompe, un débit de 180 litres par heure au niveau



du sol tombait à zéro à une altitude de 5.400 mètres, la pompe A. M. conservait son même débit de 264 litres jusqu'à 8.000 mètres.

V

### LES MACHINES A CYCLE FERMÉ

Le cycle fermé n'a pas besoin d'être défini; l'expression est précise et entendue de même par tous les thermodynamistes : un système de corps a parcouru un cycle fermé, lorsqu'il a subi une série de transformations telles qu'à la fin de l'évolution il se retrouve identiquement dans le même état qu'au commencement. En représentant l'état thermique du fluide qui parcourt le cycle par un point, dont les coordonnées sont la pression et le volume, le point figuratif de l'état a tracé une ligne, qui se ferme à chaque série complète d'opérations.

Le cycle de Carnot, dans lequel un fluide, d'abord détendu suivant une isothermique et une adiabatique, est ensuite ramené à la pression, à la température et au volume initial par une compression isothermique et adiabatique, constitue le type idéal d'un cycle rigoureusement fermé. C'est une fiction, qu'on pourrait réaliser dans la machine à vapeur industrielle, si on le voulait, mais ce serait au prix d'une complication d'organes qui n'est compensée par aucune économie et qui est, par suite, dépourvue d'intérêt. La dernière compression adiabatique, qui ramène la vapeur condensée à la température et à la pression initiale, par une action mécanique, peut être remplacée par un refoulement de l'eau froide dans la chaudière, à volume constant ou à peu près, et par une addition de calorique; c'est le cycle de Rankine. Ce cycle est encore fermé : il est réalisé dans les machines marines, avec condenseur à surface, dans lesquelles la même eau évolue toujours dans le cycle. Stirling avait imaginé un cycle à isodiabatiques, basé sur l'emploi d'un *régénérateur*, qui avait pour fonction de soustraire de la chaleur à l'air chaud dans une transformation, et de la lui restituer au cours d'une dernière opération; cette machine, perfectionnée ensuite par Lehmann, par Rieder, etc., fonctionne, elle aussi, toujours avec le même air, une petite pompe ou bien un reniflard étant suffisant pour compenser l'effet des fuites.

Toutes ces machines, caractérisées par le fait qu'une même masse de fluide est tour à tour échauffée, refroidie, comprimée et détendue dans le cylindre moteur, portent le nom générique de *machines à cycle fermé*. On appelle au contraire *machines à cycle ouvert* celles dans lesquelles le cylindre décharge au dehors, à la fin de chaque cycle, le fluide qui a évolué pour le remplacer par une masse égale prise à l'extérieur, sur laquelle on effectuera la même série d'opérations. Les premières n'ont pas d'échappement; les secondes ne peuvent fonctionner sans décharge. Celles-ci valent les autres au point de vue théorique



et pratique, mais elles imposent une servitude de fonctionnement dont il importe de pouvoir se libérer dans certains cas particuliers. Tel est le cas des bateaux sous-marins, qui ne doivent déceler leur présence par aucun dégagement de gaz, alors qu'ils sont en plongée.

Le problème soulevé par la création de ces navires d'un nouveau genre parut d'abord ne pouvoir être résolu que par l'emploi de moteurs électriques alimentés par des accumulateurs; mais l'encombrement, le poids, le prix élevé, les difficultés d'entretien et le rendement de ces appareils, sans compter d'autres inconvénients, qui constituaient des obstacles sérieux dans la pratique, amenèrent les ingénieurs à chercher dans un autre domaine le puissant moyen de propulsion dont ils avaient besoin. Les machines thermiques à cycle fermé s'imposaient à leur attention : mais elles ne résolvaient pas le problème; le fonctionnement sans décharge est, en effet, une condition nécessaire, mais elle n'est pas suffisante. Ainsi, les machines à vapeur à condenseur à surface ne pouvaient être utilisées, parce que la chaudière qui engendre la vapeur qu'elles consomment a un foyer : or, s'il n'y a pas de feu sans fumée, il n'y a pas davantage de combustion possible sans évacuation de ses produits gazeux. Les chaudières sans foyer, telles que la chaudière à eau surchauffée de Lamm et Francq, ou la chaudière à soude de Honigmann, auraient pu être employées, mais elles auraient trop limité la durée de la plongée.

Les machines à air chaud à foyer extérieur, alors même qu'elles fonctionnaient à cycle fermé, présentaient le même vice de constitution que les machines à foyers de chaudières; restaient les machines à foyer intérieur, du genre Bélou, Brown, Holt, Bénier, Gény, etc., dans lesquelles le feu est soufflé à l'air comprimé dans une chambre close, qui alimente le cylindre d'air chaud. Mais ce genre de machines ne peut fonctionner en cycle fermé, attendu que l'expulsion hors du cylindre des gaz brûlés s'impose absolument. On pourrait peut-être essayer d'absorber et de condenser une partie de ces gaz (l'anhydride carbonique et la vapeur d'eau), mais que ferait-on de l'azote? Cette difficulté pouvait être tournée en insufflant de l'oxygène pur sur le charbon : toutefois, l'ardeur du feu serait devenue telle qu'aucune garniture de foyer n'eût résisté à la haute température développée dans ces conditions.

Il fallait, dès lors, s'adresser aux moteurs à combustion interne, alimentés de gaz combustibles, c'est-à-dire aux moteurs à gaz tonnants, à explosion ou à combustion.

J'avais conçu autrefois le dessein de constituer un cycle, plus ou moins rigoureusement fermé, par la combinaison d'un gazogène et d'un moteur et j'ai repris récemment cette idée (<sup>1</sup>), rendue possible par l'abaissement du prix de

1. Wirtz, « Les récupérations de décharge dans les moteurs à combustion interne », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 22 novembre 1909. C'est à MM. Biedermann et Harvey qu'appartient l'idée de fournir CO<sup>2</sup> à un gazogène, pour récupérer le carbone, mais le procédé n'a pas donné les résultats escomptés, attendu qu'on brûlait les gaz par l'air et que les gaz brûlés, renfermant 88 % d'Az, arrivaient trop froids. Voir tome 1<sup>er</sup>, pages 240 et 252.



l'oxygène. Je suppose, en effet, que le moteur soit alimenté de gaz pauvre et d'oxygène pur : les gaz brûlés seront composés presque uniquement d'anhydride carbonique et de vapeur d'eau surchauffée. Le moteur les refoulera dans la cuve du gazogène, remplie de coke incandescent :  $\text{CO}^2$  se réduira au contact du carbone et la vapeur d'eau se dissociera suivant les réactions  $\text{CO}^2 + \text{C} = 2 \text{CO}$  et  $\text{H}^2 \text{O} + \text{C} = \text{CO} + 2 \text{H}$ .

Ces réactions sont endothermiques et elles exigent du calorique pour pouvoir se produire : mais les gaz brûlés arrivent à la cuve à une température élevée, d'au moins  $300^\circ$ , et ils apportent avec eux la chaleur requise pour leur régénération. Le gazogène ne récupère pas seulement le carbone de  $\text{CO}^2$  et le calorique sensible des gaz, mais il bénéficie de plus de leur force vive, qui contribue à établir la circulation du gazogène au cylindre; le secours apporté ainsi à l'aspiration du moteur doit compenser dans une mesure déterminée la contrepression exagérée produite par l'introduction de la décharge dans une cuve, plus ou moins obstruée par la colonne de coke incandescent. En somme, ce retour des gaz brûlés au gazogène permet d'espérer une économie sensible de consommation, attendu qu'on récupère du carbone en réutilisant la chaleur de la décharge et sa force vive. On pourrait objecter que l'alimentation à l'oxygène pur produira des explosions brisantes, dont le moteur ne s'accommodera pas aisément; mais il faut considérer que la mise en route initiale du groupe moteur-gazogène s'effectuera nécessairement en fonctionnant d'abord à l'air, de la façon habituelle, à cycle ouvert; une certaine quantité d'anhydride carbonique et d'azote resterait dans la circulation et constituerait ensuite, dans la marche à cycle fermé, avec oxygène pur, un diluant suffisant pour amortir les explosions trop vives. Tout ceci ne constitue, au demeurant, qu'un projet, qui ne donnera peut-être pas les résultats espérés et dont la réalisation présentera certainement de graves difficultés : mais ces difficultés ne paraissent pas insurmontables. Seulement, il ne faut pas s'illusionner sur la marche à cycle fermé obtenue par ce procédé : elle ne sera pas possible, attendu qu'il faudra toujours rejeter un excès de gaz brûlés, par une soupape de sûreté disposée sur la conduite reliant le cylindre à la cuve.

C'est à M. Jaubert qu'appartient le mérite d'avoir créé le moteur à gaz tonnant à cycle réellement fermé, qui seul pouvait convenir aux bateaux sous-marins; son brevet porte la date du 30 mars 1901; une addition a été faite à ce brevet le 22 octobre 1904, et un nouveau brevet était demandé le 30 décembre de la même année, avec mention toute spéciale des applications à faire à la propulsion des sous-marins. Le premier moteur Jaubert était déjà construit en 1902, par MM. Sautter et Harlé, à Paris, et il a fonctionné dans des conditions assez satisfaisantes pour qu'il ait été admis à soumissionner pour dix bateaux du type Guêpe. L'invention consiste essentiellement en ceci : les gaz d'échappement d'un moteur au pétrole, recevant comme gaz comburant de l'oxygène pur, se détendent d'abord dans un pot de décharge; puis, ils traversent un



serpentin entouré d'eau froide, qui abaisse leur température et condense la vapeur d'eau qu'ils renferment. Ils sont reçus ensuite dans un laveur-épura-teur, contenant une solution alcaline de potasse ou de soude caustique ou même de chaux, qui absorbe et retient l'anhydride carbonique. A la sortie de ces divers appareils, les gaz ne renferment plus que de l'azote, des traces d'oxygène et d'oxyde de carbone et des carbures incomplètement brûlés : ils sont aspirés par le moteur et rentrent dans le cycle, après avoir reçu l'adjonction d'une quantité d'oxygène déterminée, nécessaire pour assurer la combustion du combustible constituant la charge. La machine est donc bien à cycle fermé. En réalité, une très minime partie échappe à l'absorption et doit, par moments, être évacuée par une soupape de sûreté laissant fuir un peu de gaz : mais il serait aisé de l'absorber elle-même, par un appareil auxiliaire, de telle sorte qu'aucun échappement gazeux ne se produise aussi longtemps que le bateau est en plongée. M. Jaubert emprunte l'oxygène à la réaction de l'oxylithe (bioxyde de sodium,  $\text{NaO}^2$ ) sur l'eau :  $2 \text{NaO}^2 + \text{H}^2 \text{O} = 2 \text{NaOH} + 3 \text{O}$  ; elle fournit en plus de l'oxygène et de la soude caustique, qu'on utilise ensuite comme absorbant. On a calculé que 1 kilogramme de pétrole exige pour sa combustion 3 kg. 4 d'oxygène, soit 2.552 litres à  $15^\circ$  sous la pression de 760 millimètres : comme l'oxylithe dégage 145 litres d'oxygène par kilogramme, il faudra 17 kg. 9 d'oxy-lithe par kilogramme de pétrole ; on recueille d'autre part 18 kg. 4 de soude caustique, c'est-à-dire plus de trois fois la quantité nécessaire pour absorber l'anhydride carbonique produit par la combustion du kilogramme de pétrole consommé par le moteur.

Le moteur auquel le procédé Jaubert a été appliqué est le Diesel classique : comme le cheval-heure effectif ne demande guère que 200 grammes de pétrole, on voit qu'il faut environ 36 kilogrammes d'oxylithe par cheval.

Ces moteurs sans échappement visible n'ont pas encore conquis la place qui leur semblait promise, à bord des sous-marins : ceux-ci continuent de remonter à la surface pour développer la puissance, dont ils ont besoin, à l'aide de moteurs Diesel à échappement libre, et ils utilisent, en plongée, l'énergie des batteries d'accumulateurs, qu'ils ont chargées en naviguant à l'air libre. Les solutions les plus élégantes ne sont pas souvent les solutions pratiques des problèmes de la technique.

---



## CHAPITRE XVIII

### LES TURBINES A GAZ (1)

Nombreux sont les projets de turbines à gaz qui ont été élaborés, et non moins nombreux sans doute sont les brevets qui ont été pris, en tous pays; les revues techniques les ont fait connaître, en y joignant fréquemment des calculs établissant les remarquables rendements escomptés. Dans quelle mesure ces projets ont-ils été réalisés, il est fort malaisé de le dire : quant aux rendements obtenus, on les a rarement portés à la connaissance du public. Il semble qu'on ait plus disserté et écrit sur la question qu'on n'a expérimenté; nous n'oserions pas dire qu'on a trop disserté, attendu que la lumière jaillit souvent du choc des idées; mais il nous semble que l'on n'a pas assez construit. Les essais, qui auraient été poursuivis sur des machines existantes, seraient venus mettre au point les idées qui avaient jailli dans les esprits, confirmant les unes, condamnant les autres, et orientant les recherches dans la direction qui pouvait conduire au succès.

A-t-on manqué de confiance et de décision? Peut-être; mais ne serait-ce pas le nerf de la guerre qui a surtout fait défaut? Or, M. Barcow l'avait dit, en 1905 (2) : « Il faut deux éléments, sans lesquels le génie de tous les ingénieurs du monde est impuissant : d'abord du temps, et ensuite de l'argent, beaucoup d'argent. »

De lourds sacrifices seront, en effet, nécessaires pour construire des turbomoteurs à gaz tonnant, les modifier suivant les indications de la théorie et les données de la pratique, les mettre au point et faire la preuve de leur bon fonctionnement; ce ne sera pas l'œuvre d'un jour, ni d'un seul ingénieur; il faudra de longs efforts, beaucoup de sens pratique et une persévérance, qui ne se laissera rebuter par rien. Ce sont de généreux Mécènes et des hommes d'initiative et d'action qu'il faudrait à la turbine à gaz; nous lui souhaitons les uns et les autres.

1. Notre documentation sur ce sujet a été puisée plus spécialement dans les ouvrages suivants : *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France, l'Eclairage électrique et la Lumière électrique, Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen, les Nouvelles Machines thermiques*, par Berthier, Paris, 1908; *les Turbines à vapeur et à gaz*, par Belluzzo, traduction Civalleri, Paris, 1907; *les Turbines à gaz*, par Ventou-Duclaux, Paris, 1912. Notons encore *le Génie civil et la Technique moderne*, etc., parmi les revues à consulter sur la question.

2. *Mémoires sur les turbines à gaz*, par M. Rudolph Barcow, ingénieur à Charlottenbourg; Congrès de mécanique appliquée tenu à Liège, en 1903, tome II, page 169.



La nécessité de n'envoyer sur le rotor que des gaz déjà refroidis par la détente, impose le choix des turbines d'action, ainsi que nous l'avons déjà dit; le frottement des disques sur les gaz brûlés chauds paraît devoir être faible, et l'on sera porté à en augmenter le nombre, en vue d'améliorer le rendement; mais la multiplication des étages de pression est contre-indiquée par la température élevée des produits de la combustion, qui fera sans doute donner la préférence aux chutes de vitesse, à moins qu'on ne fasse des turbines mixtes à gaz et à vapeur.

A l'expérience de confirmer ces pronostics.

Les turbines seront à explosion ou bien à combustion.

Les premières pourraient se passer de compression préalable et elles présenteraient, de ce chef, d'indiscutables avantages : mais un appareil de ce genre produira des pulsations dans la pression, dont les turbines s'accommodent médiocrement; d'autre part, l'établissement d'une chambre de combustion à explosions sera hérissé de difficultés d'ordre pratique, qui seront peut-être insolubles pour certaines puissances, de sorte que ce type de turbine ne conviendrait qu'aux petites machines.

La turbine à combustion échappe aux objections susdites, mais elle exige l'adjonction d'un compresseur rotatif, qui vient compliquer la construction, augmenter l'encombrement et diminuer le rendement. M. Dugald Clerk s'est surtout arrêté à cette dernière considération, qu'il a développée de la manière suivante (1), et que nous reproduisons telle qu'elle a été présentée. Le savant ingénieur, désireux de formuler des conclusions irréfutables, attribue aux différents organes d'une turbine à combustion des rendements très supérieurs à ceux qu'on est en droit d'espérer; il admet 0,90 pour le compresseur, 0,90 pour les ajutages et 0,80 pour le rendement proprement dit de la turbine, autrement dit pour son rendement thermodynamique; enfin il suppose que le travail de compression est égal à 40 % du travail développé. Cela étant, il faut dépenser sur le compresseur un travail égal à  $\frac{0,4}{0,9} = 0,445$  du travail total. On a donc pour le rendement thermique définitif  $0,9 \times 0,8 - 0,445 = 0,275$ . Pour arriver à ce résultat, il a fallu majorer tous les rendements, surtout celui du compresseur, qui donne plutôt 0,6 que 0,9, et négliger toutes les pertes par conductibilité et rayonnement. M. Dugald Clerk s'est donc prononcé catégoriquement contre la turbine à compression, et il s'est rangé parmi les ingénieurs qui doutent de l'avenir de la turbine à gaz, auxquels il a apporté l'autorité de son nom, de son savoir et de sa grande expérience.

Les croyants l'ont taxé, il est vrai, de pessimisme, et M. Marcel Armengaud a publié de nouveaux calculs, résumés ci-dessus (2), qui sont plus encourageants. Il a considéré une turbine placée entre un compresseur et un condenseur-exhausteur; la turbine à deux étages de pression est supposée refroidie par

1. *Vide supra*, tome I, chap. 7, la théorie des turbo-moteurs à gaz.

2. Voir tome I, chap. 7, la théorie des turbo-moteurs à gaz.



une circulation d'eau. Tenant compte des heureux résultats fournis par les compresseurs multicellulaires de M. Rateau, dont le rendement est de 65 %, il estime que le cheval-heure effectif pourra être produit par 450 grammes de pétrole. Ce n'est pas encore un résultat remarquable et ce n'est pas autre chose qu'un résultat de calcul. Cette consommation diminuera-t-elle dans les turbines de grande puissance? On l'espère, mais on ne le prouvera que par l'expérience.

Quel que soit l'avenir réservé à ces turbines, c'est à une turbine à pétrole que l'on aboutit forcément d'abord; la dénomination de turbine à gaz devrait donc être abandonnée provisoirement du moins.

On revendique pour cette machine : « Sa marche silencieuse, sans chocs et sans trépidations, son absence de pannes d'allumage par suite de l'écoulement continu du fluide moteur, la simplicité de ses organes, qui tous tournent, sa facilité de conduite et de graissage (1). »

M. Lemale a fait ressortir l'avantage que la navigation pourrait retirer de l'emploi d'une bonne turbine à pétrole. Un moteur Diesel, a-t-il dit (2), de 800 chevaux, se composerait de quatre cylindres et tournerait à 140 tours par minute; il occuperait 10 m. 60 en longueur, 4 m. 80 en largeur et 5 m. 50 en hauteur; son poids atteindrait 170.000 kilogrammes. Une turbine remplirait un volume moitié moindre et son poids ne dépasserait guère 20.000 kilogrammes; avec une vitesse de 900 tours, on pourrait se passer de réducteur de vitesse. Il serait possible encore de gagner quelque chose sur l'encombrement et sur le poids d'une turbine en la faisant tourner à 3.000 ou 4.000 tours, donc à une vitesse plus favorable; et il est permis d'envisager des puissances de 6.000 chevaux. Pour obtenir ce résultat, il faudrait une vingtaine de cylindres Diesel. Appliquée enfin à la torpille automobile, la turbine à gaz donnerait à l'engin une valeur considérable, en doublant sa puissance et son parcours : les essais remarquables effectués récemment lui assurent la prépondérance pour cette première application (3). On le voit, M. Lemale a conçu de grandes espérances et il en entrevoit la réalisation prochaine dans les domaines les plus divers et dans les conditions les plus triomphales; il en a le droit plus que d'autres, car il a très activement contribué au premier développement du turbo-moteur à gaz. MM. Armengaud et Lemale mériteraient de réussir; après avoir été à la peine, il ne sera que juste qu'ils soient, plus que tous autres, à l'honneur.

Toutefois, il ne faut pas s'illusionner, escompter des puissances de milliers de chevaux avant d'en avoir réalisé quelques dizaines, et se figurer que des machines, qui ne sont encore qu'en projet, se substitueront à des moteurs, dont les rendements et les performances sont pour le moment hors de pair.

A vrai dire, que peut-on raisonnablement attendre de la turbine à gaz?

1. *La Lumière électrique*, tome V, 2<sup>e</sup> série, n<sup>os</sup> 7 et 8.

2. *La Technique moderne*, septembre 1909, page 460.

3. Une torpille à gaz a été décrite par M. Barbezat, *Schweizerische Bauzeitung*, tome LIII, n<sup>o</sup> 3;



Ce qu'a donné la turbine à vapeur, répondent les partisans de ces créations nouvelles. Eh bien, la turbine à vapeur ne prévaut sur les machines à piston à mouvement alternatif que par son moindre encombrement et sa plus grande puissance; à ce double égard, théoriciens et praticiens sont d'accord pour déclarer que les gaz ne donneront pas mieux que la vapeur. — Oui, mais les machines à combustion interne suppriment les chaudières. — Assurément; il reste cependant le gazogène ou le carburateur : où est le carburateur desservant un moteur de 10.000 kilowatts? Pour ce qui est de l'allégement, il ne faut pas attendre mieux de la turbine à pétrole que des admirables moteurs polycylindriques de l'aviation, qui ne pèsent guère plus, tout équipés, que 1.500 grs par cheval et ne consomment plus que 200 et quelques grammes d'essence par cheval-heure effectif.

Ces considérations étaient nécessaires avant d'entreprendre la description des rares turbines à gaz qui aient été construites.

Nous ne parlerons que des turbines et passerons sous silence les machines rotatives, proposées autrefois par quelques inventeurs, mais sur lesquelles le silence s'est fait depuis lors <sup>(1)</sup>.

Seront examinées tour à tour les turbines à explosion sans compression préalable, et avec compression, à combustion avec compression et enfin les turbines mixtes à gaz et à vapeur.

### 1. Turbine à explosion Armengaud <sup>(2)</sup>.

Le mélange tonnant est formé, sous la pression de l'atmosphère, dans une chambre où il est enflammé; il fait explosion et se détend sur les aubages du rotor.

L'explosion crée, d'une part, une pression, qui provoque un écoulement des gaz brûlés par une tuyère, mais elle fait naître derrière elle une dépression, que l'on utilise pour donner lieu à une nouvelle admission de mélange tonnant. Il y a discontinuité dans les phénomènes, mais la fréquence des pulsations rythmées est tellement grande que l'effet exercé sur les aubages du rotor est pratiquement continu.

Le schéma de la figure 309 permet de se rendre compte des dispositions adoptées.

La chambre d'explosion A est fermée à l'arrière par une soupape S, rappelée sur son siège par un ressort R réglable à volonté. Le gaz arrive par une couronne

1. J'avais décrit, dans ma quatrième édition, les moteurs Gauthier-Wehrlé, A-G, Beetz, Vernet, Auriol, Chaudun et Warmont. Ce dernier, exposé à Vincennes, en 1900, était déjà une turbine du genre de Laval; elle devait tourner, disait-on, à 5.000 tours, mais ne fut point mise en marche continue, à ce que je crois.

2. *Congrès de mécanique de Liège*, tome II, page 188.



annulaire B, et il débouche sous le siège de la soupape par de petites ouvertures qui y sont pratiquées, en se mélangeant à l'air admis par cette soupape; le tampon d'allumage C opère la mise de feu. L'explosion qui suit referme la soupape, et les gaz brûlés s'échappent par D, traversent la tuyère E et se

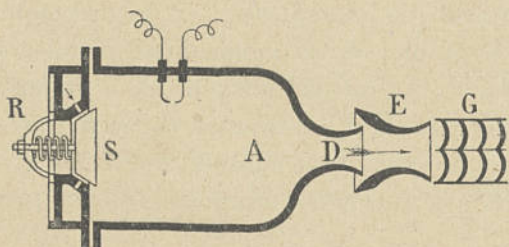


Fig. 309. — Turbine Armengaud.

détendent sur l'aubage de la turbine. Les gaz brûlés sont refroidis par leur détente et par le contact avec la paroi de la tuyère; leur énergie passe entièrement à l'état cinétique.

Il se produit trois explosions par seconde environ.

Le chargement de la chambre s'effectue automatiquement sous l'appel même du rotor tournant à grande

vitesse, et en vertu de l'inertie de la masse gazeuse, lancée dans la tuyère. De plus, le refroidissement rapide des gaz brûlés tend à produire une dépression dans la chambre. En effet, la durée de l'explosion est de  $\frac{2}{100}$  de seconde; la détente est effectuée, d'autre part, en  $\frac{10}{100}$ ; le cycle s'accomplissant en  $\frac{33}{100}$ , il reste  $\frac{21}{100}$  pour le refroidissement et l'appel d'une nouvelle charge.

La tension du ressort influe d'ailleurs sur la force de l'explosion et sur la fréquence du phénomène : en le tendant, on renforce la pression explosive et le rythme se ralentit.

La pression maximum développée varie entre deux à trois kilogrammes; elle devrait être de quatre kilogrammes dans la chambre ouverte, et de six kilogrammes en vase clos : le déchet est dû à une action de paroi, à la dilution de la charge dans les résidus précédents et, sans doute aussi, à une combustion imparfaite, due probablement à une diffusion défectueuse du combustible dans le comburant.

Le rendement théorique pourrait atteindre 16 %; or, on n'a réalisé que 4 %. L'écart était énorme, mais il s'agissait d'un début.

Il semble que le fonctionnement de cet appareil ait donné lieu d'abord à de grandes difficultés : toutefois M. Armengaud a communiqué à ses collègues de la Société des Ingénieurs civils (1) quelques résultats obtenus plus récemment et qui auraient été meilleurs. Le nombre des explosions par seconde a pu être élevé à 80; la vitesse d'écoulement des gaz à la sortie de la tuyère a été estimée à 800 mètres. M. Armengaud a conclu sa communication en ces termes : « Étant admis ces récents résultats obtenus, il semble qu'il n'y a pas lieu de dire que la turbine à combustion réussira plutôt que la turbine à explosion,

1. Voir dans le Bulletin le compte rendu analytique de la séance du 2 février 1906, page 49.



ou réciproquement, mais que, bien au contraire, il y a intérêt, pour l'avenir de ces deux genres de machines, à ce que les chercheurs ne se cristallisent pas à travailler dans une voie plutôt que dans une autre. »

Cette manière de voir est la nôtre et nous souscrivons entièrement à l'opinion de l'habile ingénieur. Sans partager l'optimisme des ardents promoteurs des turbo-moteurs à gaz, nous croyons, néanmoins, que leurs efforts aboutiront un jour à quelque succès par l'emploi des gaz carburés. Mais des recherches expérimentales s'imposent.

Des essais, poursuivis par M. Belluzzo (1) sur une turbine de Laval, ont démontré que les inconvénients des pressions pulsatives sont moindres pour les gaz que pour la vapeur d'eau : ils ont, par contre, fait ressortir que les dépôts de suie, consécutifs d'une combustion défectueuse, nuisent au rendement. Ces indications de l'expérience sont utiles à recueillir et il est à désirer qu'elles soient confirmées et complétées : elles ne sont pas défavorables aux turbines à explosion utilisant des mélanges à combustion complète.

## 2. Turbine à explosion Karavodine.

Elle a été décrite dans le numéro de janvier 1910, du *Bulletin Officiel de la Commission Technique de l'Automobile-Club de France* : l'article se réfère au *Cassier's Magazine*.

La turbine Karavodine se compose de quatre chambres à explosion ; les gaz brûlés sont dirigés, par quatre ajutages séparés, sur une roue de Laval, de 1 m. 50 de diamètre, montée à l'ordinaire sur un arbre flexible.

La chambre d'explosion est en fer : une chemise d'eau l'entoure dans sa partie médiane, mais la partie supérieure n'est pas refroidie, pour que l'auto-allumage se produise facilement. Deux ouvertures, garnies de papillons d'étranglement, donnent accès aux vapeurs d'hydrocarbures et à l'air et permettent de régler le dosage du mélange.

Le volume de chaque chambre, pour un moteur de deux à trois chevaux, est de 230 centimètres cubes ; les ajutages ont trois mètres de longueur et 16 millimètres de diamètre et leur courbure épouse la forme de la roue à aubes.

M. Barbezat a soumis cette turbine à des essais qui lui ont donné les résultats ci-dessous :

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| Vitesse angulaire du disque.....            | 10.000 tours par minute.         |
| — périphérique.....                         | 78 m <sup>3</sup> 5.             |
| Air consommé par heure.....                 | 62,5 m <sup>3</sup> = 80 kilogr. |
| Essence.....                                | 6,5 litres = 4,7 kilogr.         |
| Puissance mesurée au frein.....             | 2,1 chevaux.                     |
| Consommation d'essence par cheval-heure.... | 2 kg. 240                        |

1. *Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen*, 20 mai 1908



Cette dépense est énorme, mais le poids et l'encombrement de l'appareil est très réduit.

M. Barbezat a fait remarquer que cette machine consommait plus de combustible que le premier moteur à gaz de Lenoir de 1860. Par contre, la continuité des effets est remarquable : les détonations qui se succèdent ont été comparées à celles d'une mitrailleuse Maxim; une explosion provoque la suivante instantanément. Mais voici le revers de la médaille : il suffit d'un raté pour entraîner l'arrêt de la turbine.

### 3. Turbine Esnault-Pelterie.

Ce système a été breveté en 1907 : il ne diffère pas, en principe, des précédents. Sa chambre d'explosions est formée d'un cylindre portant, à ses deux extrémités, deux rétrécissements qui aboutissent chacun à un carburateur; il y a deux clapets d'admission et deux bougies d'allumage. La tuyère de départ est placée au milieu du cylindre, à égale distance des clapets. Les admissions alternent avec les compressions automatiques et les explosions. La fréquence  $n$  des explosions est proportionnelle à la longueur  $l$  de la chambre, et en raison inverse de la vitesse du son  $v$ ; on peut écrire  $n = \frac{2l}{v}$ ; mais le système est double.

Pour  $l = 340$  millimètres, on aurait 1.000 explosions par seconde. La continuité est donc bien réalisée.

L'inventeur a placé un tiroir devant l'orifice de la tuyère, pour augmenter la vitesse d'écoulement.

Il a cru devoir adjoindre au système deux ventilateurs pour favoriser l'entrée du mélange dans la chambre.

### 4. Turbines à explosion avec compression.

Des spécialistes distingués ont pensé que les avantages de la compression préalable, dûment constatés pour les moteurs à pistons, devaient nécessairement se retrouver dans les turbo-moteurs à explosion; la conclusion n'est pas évidente et elle ne s'impose pas. D'ailleurs, la compression entraîne une sujétion et des pertes accessoires qui pourraient compenser largement l'augmentation de rendement espérée.

Quoi qu'il en soit, des brevets ont été pris pour des turbines à explosion et à compression; ils sont aussi nombreux que variés, mais n'ont sans doute pas été appliqués, de sorte que nous nous croyons dispensés d'entreprendre leur énumération et leur examen critique. M. Gentsch en a examiné un certain nombre



par le détail, en 1904 et 1905, dans la revue *Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen*.

Nous dirons seulement qu'il suffit de munir la chambre d'explosion d'une soupape d'aval pour travailler à compression et à explosion. Mais une soupape, placée avant que les gaz explosés ne soient détendus, est exposée à une température excessive, qui doit soumettre le métal à une rude épreuve; on est amené par suite à abaisser la température explosive du mélange, au détriment du rendement. Celui-ci doit souffrir de plus du régime intermittent d'écoulement et d'action des gaz.

Le turbo Gardner-Sanderson rentre dans cette catégorie.

Il est fondé sur le principe suivant : l'explosion se produit dans des chambres centrales, formant enceinte de combustion, d'où les gaz brûlés s'échappent en frappant les aubes recourbées placées sur la circonférence d'un volant. Ces gaz agissent par leur pression, et font tourner ce volant en sens inverse de la direction des conduits; ils s'échappent par la circonférence. L'ensemble du moteur a une forme qui rappelle celle d'un ventilateur.

L'air et le gaz sont débités sous pression par deux réservoirs séparés; ils remplissent tour à tour quatre chambres d'explosion; une étincelle jaillit au moment même où les chambres se ferment. Il y aurait donc quatre explosions par tour.

Le défaut général de ces systèmes est de nécessiter une soupape d'aval, si l'on veut obtenir de fortes compressions initiales; or, cette soupape, placée à la suite de la chambre d'explosion, avant la détente des gaz brûlés, est exposée à une température élevée, qui la met rapidement hors de service.

Les compresseurs sont rotatifs : Parsons a, le premier, employé à cet effet une turbine dont il renversait tout simplement le sens de rotation et, conséquemment, celui de l'écoulement des gaz. Plus tard, on a fait usage des compresseurs multicellulaires du genre Rateau.

## 5. Turbine Stolze à combustion.

Le principe des machines à compression et combustion est très simple : de l'air est comprimé d'abord, puis échauffé et détendu jusqu'à la pression atmosphérique; la puissance motrice ainsi obtenue est égale à l'excès du travail de détente sur le travail de compression, excès dû à l'apport de calorique effectué dans l'intervalle des deux opérations.

Ce système est celui qui paraît avoir la préférence aujourd'hui; il a été essayé par les principaux constructeurs des turbines à vapeur, qui ont fait breveter les dispositions les plus variées et les plus diverses; sans grand succès apparemment, car un petit nombre de ces projets ont vu le jour de leur réalisation. Nous nous bornerons à décrire quelques types, dont il a davantage été parlé dans les revues.



La machine Stolze a été brevetée en 1899 : le brevet de Laval lui était bien antérieur, puisqu'il date de 1893, et il en avait été pris d'autres dans l'interval. Le brevet Stolze a donc pu bénéficier de l'expérience acquise.

Un moteur de 200 chevaux a été mis en construction, à Berlin, par la *Gasturbinen-Gesellschaft Stolze* : il a déjà été décrit dans l'*Eclairage Electrique* du 26 novembre 1904, à peu près dans les termes suivants : sur un axe commun, sont montés deux systèmes de turbines d'une construction différente; l'une sert de compresseur d'air alors que l'autre imprime à l'axe un mouvement rotatoire, sous l'action de l'air chauffé dans une enceinte placée entre les deux turbines. Les deux systèmes d'appareils consistent en plusieurs séries d'aubes fixes d'un stator, et de palettes mobiles d'un rotor, monté sur l'axe de la machine. La première turbine aspire de l'air frais et le comprime à un ou deux kilogrammes environ, puis le refoule à travers un réchauffeur, utilisant les gaz de l'échappement de la deuxième turbine; la majeure partie de cet air entre ensuite dans une chambre de combustion, à parois réfractaires, alors que le reste est amené au-dessous de la grille d'un générateur, où il gazéifie un combustible approprié. Le gaz ainsi formé pénètre dans la chambre et y brûle sous pression constante, en développant une grande quantité de chaleur; les produits de la combustion entrent ensuite dans la turbine motrice, où ils fournissent du travail par leur expansion, en traversant les différents étages d'aubes.

Le brevet allemand (n° 101.959) prévoyait l'emploi de tous gaz combustibles : « *Leuchtgas, Kraftgas, Generatorgas, Sauggas, Hochofengas, Petroleum oder dessen Rückstände, Benzin, Spiritus, u. s. w.* ». Rien ne manquait à l'énumération et pourtant il est douteux qu'on ait même abouti à un résultat quelconque avec le seul pétrole. L'appareil était appelé *Heissluftturbine* ou bien *Feuerturbine*. On parlait d'un rendement thermique de 33,3 %, qui n'avait encore été atteint que par la machine Diesel. Une société devait être constituée pour exploiter cette merveille : nous n'en avons point entendu parler depuis longtemps, pas plus que de la turbine Stolze. La presse allemande lui avait fait le meilleur accueil et une brochure de propagande avait réuni un certain nombre d'articles élogieux, signés des noms les plus autorisés. Nous attendrons de connaître des résultats d'essais avant d'oser dire que nos collègues allemands ont oublié qu'il y a loin de la coupe aux lèvres.

## 6. Turbine à combustion Armengaud-Lemale.

M. Armengaud avait débuté dans l'ingrate carrière des turbos à gaz par une machine à explosion; il en est donc venu à la machine à combustion en connaissance de cause, avec la collaboration de M. Lemale, qui avait lui-même une grande expérience acquise.

Le brevet allemand accordé à cette invention se résume dans la spécifica-



tion suivante : « une turbine à combustion continue et à pression constante, avec interposition d'une chambre de combustion entre le point d'allumage et la tuyère de détente; les gaz brûlent d'abord sous pression dans la chambre, et se trouvent ensuite rassemblés convenablement avant de se détendre sur les aubes de la turbine (1).

La chambre est représentée dans ses éléments essentiels par le croquis schématique de la figure 310. Elle est alimentée par un courant d'air, comprimé par un ventilateur à haute pression, actionné directement par l'arbre de la turbine; l'air arrive par B; un injecteur de pétrole E délivre le combustible

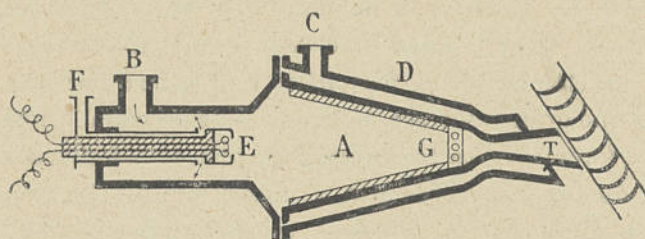


Fig. 310. — Turbine Armengaud-Lemale.

liquide, qui jaillit en tous sens et se mêle intimement à l'air. Un inflammateur électrique, placé à l'extrémité de l'injecteur, allume le pétrole à son entrée dans la chambre. On estime à 1.800° la température ainsi développée : elle serait dangereuse pour les parois de la chambre, si celles-ci n'étaient réfrigérées par une circulation d'eau depuis C jusqu'à la tuyère. Des orifices G laissent pénétrer une certaine quantité d'eau dans la chambre; celle-ci se vaporise, se mêle aux gaz brûlés et abaisse leur température à 800° environ. Ce fluide mixte se détend dans la tuyère et agit sur les aubes de la roue.

La chambre est revêtue intérieurement d'une gaine de carborundum, appuyée sur une matière calorifuge élastique (formée d'amiante et de magnésie calcinée), permettant de compenser les différences de dilatation. Le carborundum (2) est une substance très réfractaire qui pourrait résister à des températures de 3.000°; lorsqu'il est porté au rouge, l'allumage se produit spontanément et l'on est assuré d'une combustion parfaite. Le volume de la chambre est calculé pour que la pression des gaz brûlés soit égale à la pression avant combustion.

Cette chambre a été transformée plusieurs fois; on la construit généralement en deux parties, l'une de combustion, l'autre de réfrigération : la première est seule revêtue de carborundum; la deuxième est constituée par une pièce d'acier, isolée du carborundum par une rondelle d'amiante, et refroidie par une enveloppe de circulation d'eau. L'introduction de vapeur n'a lieu qu'à proximité des tuyères, pour ne pas nuire à la combustion produite dans la première enceinte.

L'injecteur a été l'objet d'une étude toute spéciale. Le pétrole arrive dans la

1. Mémoires de la Société des ingénieurs civils, 1<sup>er</sup> semestre 1906, page 757.  
2. C'est un carbure de silicium produit par voie électrique.



chambre par un canal annulaire et il y débouche par de très petits canaux, à parcours hélicoïdal, qui le pulvérisent et le projettent contre le courant d'air, de manière à déterminer un brassage énergique du mélange. L'injecteur est entièrement entouré par le flux d'air, qui le refroidit suffisamment pour empêcher la vaporisation du carbure avant qu'il n'ait été injecté dans la chambre. Un fil de platine, porté à l'incandescence, détermine l'allumage initial : il est protégé par une capsule ouverte à l'avant. L'injecteur se démonte aisément; on peut ainsi l'examiner et procéder à la visite et à la toilette intérieure de la chambre de combustion.

L'air comprimé est fourni à la chambre par des compresseurs multicellulaires de M. Rateau, dans lesquels une roue munie d'ailettes, tournant dans une enveloppe, projette contre la périphérie l'air aspiré par une ouïe centrale. Celui-ci, animé d'une grande vitesse, s'engage dans un canal diffuseur de section croissante, où sa force vive se transforme en pression. Un second ventilateur, placé à la suite du premier, reprendra le même air et élèvera encore sa pression; on peut en adjoindre un troisième et un quatrième, etc. Les pressions absolues du vent croîtront suivant une progression géométrique; en effet, l'augmentation de tension est proportionnelle au poids spécifique de l'air, par suite à sa pression même, si la température reste constante. Il est possible d'atteindre ainsi 10 atmosphères. On a déjà construit à Baden un turbo-compresseur débitant 4.000 mètres cubes à l'heure sous cinq kilogrammes absolus de pression, ce qui représente une puissance de 400 chevaux; le rendement organique a été de 70 % (1).

Pour permettre d'utiliser une détente prolongée, on crée une dépression en aval, à l'aide d'un autre ventilateur placé à la suite de la turbine : mais on a trouvé avantage à interposer entre la sortie de la turbine et l'entrée de l'aspirateur un condenseur centrifuge, condensant la vapeur d'eau mélangée aux gaz, et les refroidissant pour réduire leur volume.

En admettant que le compresseur d'amont comprime à six kilogrammes et que l'exhausteur d'aval crée une dépression de 0 kg. 2, il est possible d'obtenir une chute dans le rapport excellent de 30.

Comme turbine, on peut employer n'importe quel type d'action; on a fait usage de turbines monoroues de Laval, et M. Cohendet a construit un modèle Curtis, à double rangée d'aubes, avec refroidissement interne. Les gaz chauds se détendaient sur le disque par 30 tuyères convergentes-divergentes, réparties sur la moitié supérieure. Le compresseur multicellulaire de MM. Rateau-Armengaud avait été établi par M. Brown-Boveri, à Baden en Suisse.

On avait débuté par des appareils d'essai, constitués par des combinaisons de fortune; puis on a entrepris la construction de modèles bien étudiés, mais de

1. *La Technique moderne*, septembre 1909, page 459.



faible puissance; enfin, la Société des Turbo-moteurs à combustion a entrepris, en 1906, une turbine d'une puissance de 300 chevaux.

De nombreuses expériences ont certainement été poursuivies avec ces divers appareils; les résultats n'en ont été portés que partiellement et successivement à la connaissance du grand public (1); nous essaierons de résumer les conclusions qu'on peut en déduire.

M. Barbezat, ingénieur de la Société des Turbo-moteurs, s'est servi au début d'une ancienne turbine de Laval, de 25 chevaux, dont le disque mesurait 150 millimètres de diamètre et faisait environ 20.000 révolutions à la minute; la vitesse périphérique aux aubages atteignait 150 mètres à la seconde. On a utilisé d'abord l'air comprimé des canalisations parisiennes, mais on a aussi employé un compresseur à grande vitesse, de rendement bien connu. En fournissant aux tuyères de l'air pur, sous 4 kg. 5 de pression, on consommait 720 mètres cubes à l'heure pour développer 10,5 chevaux; la température de l'air tombait de + 7° à — 24°; la vitesse à la sortie des tuyères était de 400 mètres à la seconde. On procéda ensuite à un essai au frein, en alimentant au pétrole lampant la chambre de combustion, et l'on obtint les résultats ci-dessous :

|   |                         |                      |
|---|-------------------------|----------------------|
| Puissance mesurée au frein.....                 | 25,5 chevaux.           |                      |
| Pression absolue dans la chambre de combustion. | 5 kilogrammes.          |                      |
| Température relevée au pyromètre.....           | 380°                    |                      |
| Air admis par heure.....                        | 259 mètres cubes.       |                      |
| Eau admise par heure.....                       | 179 litres.             |                      |
| Pétrole admis par heure.....                    | 17 kg. 4                |                      |
| Puissance absorbée à vide.....                  | 3,3 chevaux.            |                      |
| Consommations par cheval-heure indiqué....      | } 9 mètres cubes d'air. |                      |
|   |                         | } 6,24 litres d'eau. |
|   |                         |                      |

Le travail développé était presque cinq fois plus grand que celui que fournissait l'air froid : c'est une donnée utile à connaître, mais cela ne constitue pas un résultat à retenir seulement à l'actif des turbines à pétrole.

Il faut reconnaître que la turbine de compression employée était médiocre : on a estimé son rendement à 30 % au maximum.

On a constaté que le rendement thermique augmentait, dans les essais, avec les pressions d'air et avec les températures; il y avait avantage à ne pas trop refroidir avant détente, mais à chercher à abaisser la température le plus possible par détente, ce qui était à prévoir par la théorie.

La turbine de 300 chevaux, du genre Curtis, faisant 4.000 tours, était munie de tuyères à profil divergent, comme celui des tuyères de Laval, mais moins longues, pour une même chute de pression. Le réglage s'effectuait par étranglement des conduites d'arrivée d'air d'abord, pour les faibles variations de charge,

1. PASSIM, *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1<sup>er</sup> semestre 1906; *l'Eclairage électrique*, 4 août 1906; *Schweizerische Bauzeitung*, tome LIII, n° 3; *Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen*, 19 mai 1909, etc.



puis par dosage du pétrole, pour les variations plus importantes : un régulateur Hartung commandait ces organes de distribution. Deux pompes, calées sur l'arbre, débitaient l'eau et le pétrole; l'air était fourni par le compresseur multicellulaire décrit ci-dessus, avec refroidissement de l'air pour obtenir une compression aussi isothermique que possible. On escomptait un rendement d'au moins 65 %.

Il ne paraît pas que des essais définitifs aient encore été faits sur cette belle machine. Nous ne connaissons que des expériences dans lesquelles on recueillait comme puissance utile celle qui correspondait à l'excès d'air comprimé, disponible à la sortie du groupe compresseur-turbine.

Ce compresseur à trois étages, débitant de l'air sous 5 kilogrammes, alimentait 33 tuyères, de 10 millimètres de diamètre minimum; l'air excédent, soit un quart, était rejeté à l'atmosphère. Le pétrole était servi au pulvérisateur par une pression d'air de 7 kilogrammes. Le disque Curtis mesurait 950 millimètres; la vitesse périphérique moyenne ne dépassait pas 212 mètres, au cours des essais. Voici les résultats à signaler :

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| Vitesse du disque.....                      | 4.250 révolutions par minute. |
| Température à l'entrée des tuyères.....     | 560°.                         |
| — la sortie de la turbine.....              | 420°.                         |
| Pression dans la chambre de combustion...   | 4 kilogrammes absolus.        |
| Température de l'air sortant du compresseur | 87°                           |
| — ambiant.....                              | 18°                           |
| Consommation d'eau par heure.....           | 1.840 kilogrammes.            |
| — de pétrole par heure.....                 | 178 —                         |

Il serait difficile de chercher à déduire, de semblables expériences, la consommation de pétrole par cheval-heure effectif : on arriverait à des chiffres qui subiront certainement une notable réduction, lorsque les turbines seront complètes et constituées suivant les dernières indications de la théorie et de la pratique.

### 7. Turbine Kerr.

De nombreux inventeurs se sont proposé d'abaisser la température de détente des gaz par des injections d'eau. M. Sekutovicz a démontré qu'il y a avantage à pratiquer ces injections après plutôt qu'avant détente : la vapeur sera produite au moyen des chaleurs perdues de la machine elle-même.

On a aussi essayé d'injecter de l'air comprimé dans les gaz chauds; mais comme il est nécessaire de donner à cet air relativement froid une vitesse au moins égale à celle des gaz chauds, on a été amené à dépenser une grande quantité d'énergie dans le ventilateur-injecteur. On peut envoyer tout l'air comprimé dans la chambre de combustion, ou bien n'y faire passer qu'une partie de l'air et faire passer le reste dans les tuyères : le premier procédé est le meilleur, à en croire M. Sekutovicz.



La Kerr Turbine C<sup>o</sup> a adopté une chambre de combustion de petites dimensions, séparée de la tuyère par une toile métallique destinée à empêcher les retours de flamme. L'air pur et l'air carburé sont comprimés et introduits séparément dans la chambre, dans les proportions voulues, en traversant des soupapes spéciales; une bougie allume le mélange à l'entrée de la tuyère. Mais l'orifice de la tuyère est entouré par un tuyau amenant l'air comprimé, destiné à refroidir le jet, en même temps qu'il empêche les parois d'être portées à des températures trop élevées.

### 8. Turbine Holzwarth.

Nous avons réservé cette turbine pour la fin de nos monographies, parce qu'elle semble être entrée dans la pratique et avoir fourni autre chose que des promesses, même avec des gaz.

M. Holzwarth est resté fidèle aux chambres à combustion discontinue; son premier appareil, breveté en 1906, était à explosion avec compression préalable : telle est encore la turbine, construite en 1911 par la Société Brown-Boveri, puis, en 1914, par les ateliers Thyssen et C<sup>ie</sup>, de Mülheim. Cette dernière a été, en 1920, l'objet d'essais officiels, dont les ingénieurs allemands ont publié assez bruyamment les très intéressants résultats, en faisant ressortir que l'on ne pouvait plus douter désormais de l'avenir qui est réservé aux turbines à gaz.

La chambre de combustion se remplit par intermittences d'un mélange de gaz et d'air, que l'on allume et qui, après avoir explosé, s'échappe par un ajutage qui le fait agir sur les aubages du rotor. La combustion est presque instantanée, par suite du malaxage parfait des gaz et de l'allumage réalisé en période tourbillonnaire. La chambre est formée de dix compartiments, disposés symétriquement autour d'un axe commun; ils entrent en action les uns après les autres régulièrement et avec un décalage déterminé. Un compresseur les alimente d'air et de gaz, sous une pression assez faible de 3 kg. 5 par centimètre carré; un exhausteur fait le vide à la sortie de la turbine.

Les valves d'admission de l'air et du gaz sont séparées; pendant qu'elles sont levées, la soupape de sortie des chambres reste fermée par une valve commandée par l'intermédiaire d'un relais à huile. On cherche à admettre d'abord de l'air frais, pour qu'il balaie les chambres et les réfrigère quelque peu, ainsi que les roues de la turbine. La foulée de l'explosion ouvre la soupape de sortie, qui reste ouverte jusqu'à ce que tous les gaz brûlés aient agi sur les aubages : ce résultat est obtenu grâce à un piston à huile, dont la valve est munie. Tous les mécanismes de distribution et d'allumage sont disposés à la partie inférieure de la machine. Les chambres ont une forme pyramide, qui donne aux parois une grande résistance, sans qu'il soit nécessaire de renforcer outre mesure leur épaisseur, ce qui favorise leur refroidissement. Grâce au



balayage par l'air, la température du métal ne dépasse pas 400° : ce résultat est d'autant mieux assuré que les chocs périodiques des gaz chauds sont de courte durée et qu'ils alternent avec les arrivées d'air plus froid.

La puissance nécessaire à la compression de l'air est fournie par une turbine auxiliaire, actionnée par de la vapeur engendrée dans une chaudière chauffée aux chaleurs perdues.

La figure 311 montre un diagramme des pressions relevées sur la turbine : on voit que la pression explosive ne dépasse pas six kilogrammes. Mais on a augmenté plus tard la compression, ce qui a porté les pressions à 14 kilogrammes.

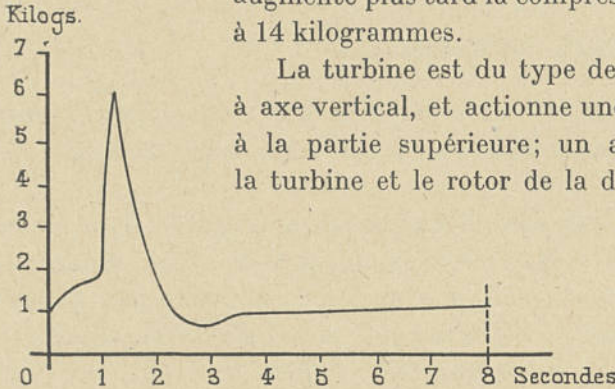


Fig. 311. — Diagramme Holzwarth.

La turbine est du type de Laval à un seul étage; elle est à axe vertical, et actionne une génératrice d'électricité placée à la partie supérieure; un axe commun porte la roue de la turbine et le rotor de la dynamo.

La machine est pourvue d'un régulateur à arbre horizontal, mû par un engrenage à vis : ce même arbre porte le régulateur, l'engrenage commandant le distributeur d'huile, le

mécanisme d'allumage et un tachymètre.

Les renseignements qui suivent (1) donnent la physionomie générale du fonctionnement de la turbine et permettent de se rendre compte des perfectionnements réalisés dans cette construction.

L'inventeur a pris pour objectif de réduire le plus possible la durée de la détente, donnant ainsi un acquiescement, qu'on me permettra de relever, à la théorie que j'ai donnée des meilleures combustions. Cette durée a pu être réduite à un dixième de seconde. Elle n'est que de deux centièmes de seconde dans les moteurs d'aviation, mais M. Holzwarth n'a pu aller au delà de ce qu'il a réalisé, parce qu'il lui aurait fallu accroître la section de la tuyère et augmenter la longueur des aubages.

La forme de tuyère adoptée est celle de la turbine à vapeur de Laval; il a paru inutile de la modifier, car elle s'est bien prêtée aux variations de la vitesse d'écoulement des gaz.

Pour ce qui est des aubages des roues, soumis à des chocs par suite des explosions intermittentes, il a fallu étudier spécialement leur forme et leurs moyens d'attache. L'acier qui a donné les meilleurs résultats est un acier électrolytique, qui est en réalité un fer doux; sa charge de rupture, de 45 kilogrammes à 15°, est encore supérieure à 26 kilogrammes à 450°; à cette température, son

1. *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 28 février 1920.



allongement est devenu de 50 % au lieu de 27. Il ne subit pas de modifications de structure à l'usage, s'use peu et se corrode faiblement, surtout si les gaz renferment peu d'oxygène libre.

On a construit une turbine de 1.000 chevaux, destinée à l'utilisation des gaz de four à coke et on lui a fait subir des essais, dont voici les principaux résultats :

| Consommation de gaz par heure à | 300 m <sup>3</sup> | 400 m <sup>3</sup> | 550 m <sup>3</sup> | 630 m <sup>3</sup> |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0° et 760 millimètres.....      | 300 m <sup>3</sup> | 400 m <sup>3</sup> | 550 m <sup>3</sup> | 630 m <sup>3</sup> |
| Calories fournies.....          | 1.500.000          | 1.730.000          | 2.110.000          | 2.415.000          |
| Puissance développée.....       | 70 chev.           | 250 chev.          | 724 chev.          | 984 chev.          |
| Calories par cheval-heure.....  | 16.430             | 6.090              | 2.915              | 2.450              |
| Rendement thermique.....        | 3,9 %              | 10,4 %             | 21,8 %             | 26 %               |

La puissance requise pour la compression de l'air et des gaz représentait 5,7 % de la chaleur de la décharge.

Ces résultats sont assurément dignes d'attirer l'attention des spécialistes.

La durée des essais n'a été que de quatre heures : on peut regretter qu'elle ait été si courte.

La firme Thyssen a aussi mis en construction une turbine du type horizontal, tournant à 3.000 tours, destinée à fonctionner au gaz d'huile : le compresseur et l'excitatrice seront montés sur l'arbre de la roue.

L'huile vaporisée est envoyée par un injecteur à air comprimé dans les chambres de combustion préalablement remplies d'air comprimé : l'inflammation est effectuée par plusieurs bougies à haute tension. On évite soigneusement la rencontre du jet vaporisé avec les parois : celles-ci sont du reste maintenues à une température élevée.

Cette dernière machine n'est pas encore sortie de la période des études : il semble qu'on n'ait pas employé jusqu'ici d'autre combustible que le benzol.

La turbine Holzwarth justifie en partie les heureux pronostics des partisans des turbos à gaz, et elle permet de croire que ces machines donneront enfin les résultats depuis si longtemps annoncés et escomptés, et qu'elles prendront la tête des machines thermiques.

Peut-on l'espérer et doit-on le souhaiter ?

Sans doute, ces nouvelles machines présentent des avantages spéciaux qui autorisent de sérieuses espérances, si l'on réussit à vaincre les difficultés matérielles que présente encore leur exécution. Si nous n'avions déjà les turbines à vapeur de 25.000 kilowatts et plus, les moteurs à gaz de hauts fourneaux, de plusieurs milliers de chevaux, les moteurs Diesel aux admirables rendements, les moteurs d'aviation ultra-légers et cependant économiques, nous saluerions avec enthousiasme ces astres levants ; mais nous possédons ces merveilles et elles ont fait leurs preuves, depuis des années, d'une façon incontestable : la turbine à gaz vient bien tard, et il lui faudra conquérir de haute lutte des situations déjà occupées par ses concurrents. Mais il y a place pour tout le monde au soleil, à toutes les heures du jour.



## CHAPITRE XIX

---

### ÉTUDE COMPARATIVE DES ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION DES MOTEURS

---

Les monographies que nous avons données des principaux moteurs avaient pour objet de caractériser leur type, et de faire connaître les détails les plus intéressants de leur construction.

Mais ces descriptions individuelles doivent être complétées par des rapprochements synthétiques, aboutissant à une étude plus générale et à une discussion critique des dispositifs adoptés par les meilleurs constructeurs.

C'est le travail que nous entreprenons de faire dans ce chapitre : nous le considérons comme le complément nécessaire de ce qui précède.

Pour que cette étude soit fructueuse et intéressante, il importe d'y mettre beaucoup d'ordre et de méthode. Nous considérerons tour à tour les organes et appareils fixes, les organes moteurs, ceux de distribution et d'allumage, et enfin ceux qui peuvent être considérés comme accessoires. Autant que possible, nous rangerons nos descriptions suivant l'ordre des dimensions et des puissances croissantes des machines, en mettant toutefois en catégorie spéciale les moteurs d'autos et d'avions.

La construction des puissants moteurs à gaz diffère complètement de celle des petites machines à simple effet, qui en constituaient autrefois le type général ; l'usage du cylindre et du piston fermé, imposé par le double effet, l'emploi des presse-étoupe, l'obligation d'une réfrigération intense de tous les organes exposés à un échauffement excessif, la régulation par admission variable en qualité ou en quantité, la disposition des cylindres multiples, jumelés ou placés en tandem, les conditions particulières d'un graissage de larges organes, soumis à des pressions énormes, ont nécessité des modifications de formes et de dimensions, qui ont révolutionné la mécanique des moteurs à gaz. Elle s'est rapprochée de celle de la machine à vapeur, mais en diffère en bien des points et présente assurément de plus grandes difficultés.



I

## ORGANES FIXES

### Cylindres.

Le cylindre est un des organes principaux du moteur à gaz, dont il faut dessiner les formes avec habileté et surveiller la construction avec soin. Il suffit d'exposer le rôle complexe que remplit le cylindre pour faire apprécier les difficultés qu'on éprouve à réaliser les meilleures conditions de son établissement. Et d'abord, par ses parois, il exerce une influence considérable sur les combustions; la forme de ces parois intervient dans cette action ainsi que leur étendue, car si la culasse présente des réduits et des recoins, il s'y remisera des gaz brûlés et s'y déposera des incrustations solides qui provoqueront des allumages spontanés. Le refroidissement du métal est une nécessité inéluctable des cylindres à gaz; il ne faut donc pas lui donner de surépaisseurs, qui feraient obstacle à la transmission du calorique, sans oublier toutefois qu'il doit résister aux énormes pressions développées par les explosions du mélange tonnant : il importe aussi de répartir uniformément le métal, pour éviter les dilatations inégales, qui provoquent si souvent des ruptures. Il faut enfin tenir compte des difficultés de fonderie que présente cette pièce, compliquée dans ses formes, chargée d'organes, percée de nombreuses ouvertures. Ce peu de mots suffit pour faire ressortir l'importance de l'étude du cylindre; certains constructeurs ont négligé cette partie du moteur; des inventeurs se sont préoccupés davantage de menus détails de distribution ou de réglage; ils raisonnaient mal et l'expérience le leur a quelquefois durement rappelé.

Les ingénieurs allemands ont, par contre, mieux compris que le cylindre jouait un grand rôle dans les moteurs à gaz et ils ont avec raison traité cet organe comme un organe essentiel, dont la considération devait primer toute autre; les résultats qu'ils ont obtenus sont dus en partie à cette sage clairvoyance.

Les nombreuses coupes de cylindres que nous avons données, dans le chapitre des monographies des moteurs, nous permettront de résumer succinctement ce qu'il importe de dire sur ce sujet si important.

Tous les cylindres sont refroidis, les uns par des ailettes qui augmentent leur surface rayonnante, la plupart par des enveloppes à circulation d'eau. J'ai démontré qu'il y a un intérêt théorique à marcher à parois chaudes, mais sous la double réserve que la lubrification reste possible et qu'il ne se développe pas de températures incompatibles avec une bonne marche du moteur et une bonne



conservation de ses organes. La pratique a établi que les ailettes étaient suffisantes pour les petits moteurs fixes, jusqu'à une puissance de quelques chevaux ; au delà, il faut une circulation d'eau froide.

Toutefois, dans les moteurs ultra-légers polycylindriques, on a pu atteindre à de grandes puissances, avec des cylindres à ailettes, en dirigeant sur elles un vif courant d'air produit par un ventilateur. M. Aster a construit des cylindres munis d'ailettes en cuivre rouge ondulé, qui étaient serties dans le corps de fonte. Le procédé était rationnel, vu la grande conductibilité du cuivre, mais il était plus compliqué que de raison.

Au début de la construction des moteurs à gaz, les cylindres faisaient pièce avec le bâti, mais cette pratique a été abandonnée et nous ne la citons que pour mémoire.

Un certain nombre de constructeurs font encore venir leurs cylindres de coulée avec leurs enveloppes et leurs culasses ; cette forme est logique, attendu que le piston d'une machine à simple effet se retire toujours par l'avant, et qu'il n'y a aucune nécessité de pourvoir le cylindre d'un fond amovible ; mais une telle pièce était d'un moulage en terre difficile et elle exigeait des noyaux importants ; aussi a-t-on renoncé à cette manière de faire pour les cylindres de quelque importance. Meilleure est assurément la pratique actuelle de construire des cylindres en deux pièces, avec chemise intérieure en fonte dure : mais ici encore la médaille a un revers. En effet, si la culasse fait pièce avec l'enveloppe, on est amené à effectuer un joint de fond, qui est inaccessible ; si la culasse est séparée, son démontage a l'inconvénient de provoquer aussi celui de la plupart des organes de distribution montés sur le fond. Cet inconvénient serait grave, si l'on ne disposait les soupapes de manière à permettre d'enlever la culasse sans toucher à la distribution, comme cela se fait généralement.

Le dispositif le plus répandu jusqu'en ces derniers temps consistait à fondre l'enveloppe du bâti avec le cylindre et à y rapporter une chemise de fonte dure, boulonnée à l'extrémité arrière et se dilatant librement vers l'avant. La chemise était emboîtée dans l'enveloppe préalablement chauffée à 200 degrés ; l'alésage de l'enveloppe, présentant un quart de millimètre de moins que le diamètre extérieur tourné de la chemise, on obtenait un serrage parfait après refroidissement. Quelques constructeurs prenaient même la précaution de ménager des rainures dans la portée *ab*, ainsi que l'indique la figure 312, pour assurer une meilleure étanchéité du joint ; la chemise était attachée sur le fond par les mêmes boulons, qui y assujettissaient la culasse, et aucune fuite d'eau n'était à craindre de ce côté dans le cylindre.

On n'avait pas les mêmes assurances pour l'assemblage représenté par l'une ou l'autre des figures 313 et 314 ; que l'enveloppe et la culasse fussent d'une pièce ou bien qu'elles fussent séparées, il y avait un joint de fond *m* difficile à faire et d'une surveillance délicate, sinon impossible.

M. Bollinckx, qui a apporté à la construction des moteurs la grande compé-



tence qu'il avait acquise dans les machines à vapeur, a adopté les dispositions représentées ci-contre sur la figure 315 ; elles sont rationnelles et garantissent contre les ruptures de culasse, qui ont été pendant quelque temps une redoutable épreuve pour les meilleurs types de moteurs. Le cylindre Bollinckx, guidé dans le bâti, est entièrement libre de suivre la dilatation de la culasse ; le joint *m* existant entre les deux parties n'a donc plus aucune tendance à s'ouvrir, et il

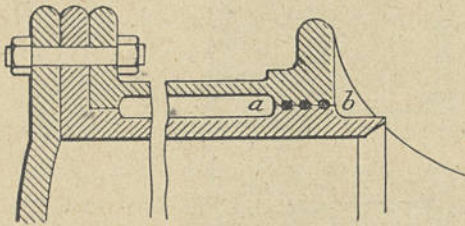


Fig. 312. — Cylindre à dilatation.

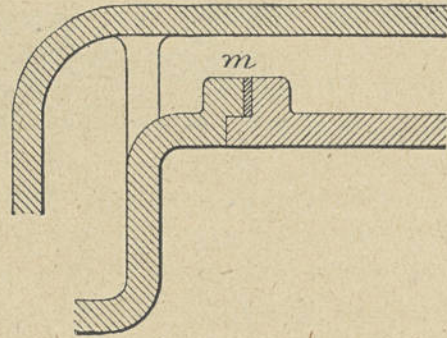


Fig. 313. — Joint d'enveloppe.

ne supporte d'autre fatigue que celle de la pression explosive développée derrière le piston. La culasse est boulonnée sur le bâti, mais le joint *a* ne résiste qu'à la pression de l'eau circulant dans l'enveloppe, laquelle est toujours faible. Les nervures X et Y soutiennent le fond de la culasse et la consolident, au cas fréquent où une excentration des noyaux se serait produite dans le moule au moment de la coulée : la forme adoptée permet du reste de réduire les épaisseurs des parois, ce qui procure un refroidissement plus efficace et plus régulier par l'eau de circulation.

Lorsqu'on aborda la construction des moteurs de grande puissance, on commença par se contenter de développer les dimensions des cylindres en conservant les mêmes formes et les mêmes pratiques de construction ; les culasses portaient les soupapes d'admission et de décharge et les cylindres s'établissaient comme précédemment. Les nombreux accidents qui signalèrent ces premiers débuts faillirent compromettre le succès de cette entreprise, qui ne laissait pas que d'être audacieuse ; par suite des formes compliquées des culasses et des inégalités de température qui résultaient fatalement d'une irrigation insuffisante ou défectueuse, il s'y produisait fréquemment des fentes et des ruptures, qu'on attribuait tour à tour à des vices du métal, à des retraits de fonderie, à des effets de tension intérieure, à des arrêts de circulation de l'eau de réfrigération, quelque-

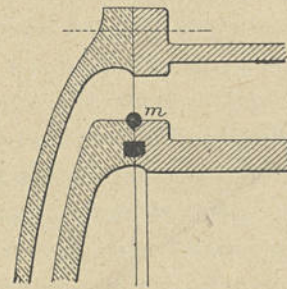


Fig. 314.  
Double joint d'enveloppe.



fois même à des incrustations formées dans les enveloppes. A dire vrai, la plupart des ruptures étaient dues à ce que l'on ne ménageait pas un espace suffisant entre la chemise intérieure du cylindre et son enveloppe extérieure : cet espace doit être pour le moins égal à 3 ou 4 fois l'épaisseur de la fonte de l'enveloppe. En effet, ces deux cylindres concentriques se trouvent dans des conditions mécaniques et thermiques fort différentes : le cylindre intérieur supporte seul les efforts de

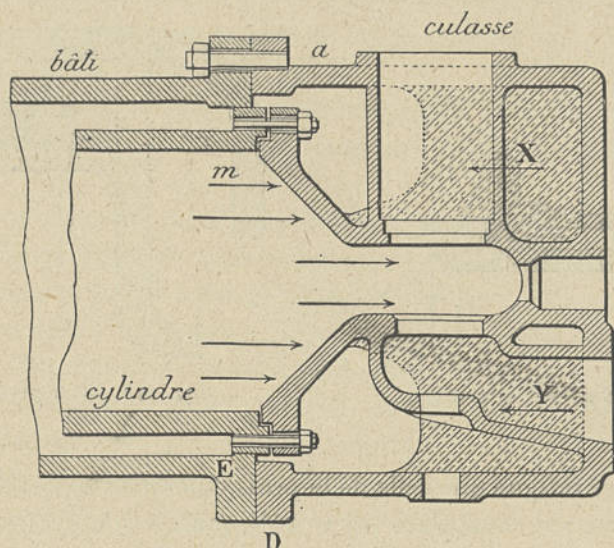


Fig. 315. — Cylindre et culasse Bollinckx.

tension résultant de l'explosion, efforts qui s'exercent dans le sens de son axe ; il subit, d'autre part, des actions perpendiculaires à son axe, d'autant plus énergiques que l'obliquité de la bielle est plus grande ; enfin le métal de l'enveloppe est à une température moins élevée. Il faut donc rendre l'enveloppe et la chemise moins solidaires l'une de l'autre et les relier l'une à l'autre par de grands congés.

Ces précautions ne suffisaient encore pas.

Malgré tous les efforts des constructeurs et des fondeurs, et en dépit des nombreux changements de forme qui furent essayés, les accidents se multiplièrent tellement qu'on fut amené à modifier radicalement la disposition des cylindres des gros moteurs et l'on fit porter au cylindre lui-même ses boîtes de distribution ; les culasses se simplifièrent dès lors et devinrent, ce qu'elles sont généralement aujourd'hui, de simples couvercles ou fonds de cylindre, analogues à ceux des machines à vapeur. Dans les moteurs à double effet, ces couvercles ne présentent plus d'autre complication que celle qui résulte du passage de la tige et de l'existence des presse-étoupe.

On fut donc ramené à faire venir d'une pièce la chemise avec son enveloppe ; au point de vue de la construction et du montage, la solution était assurément la plus simple, mais les difficultés se trouvaient déplacées et elles incombaient surtout au maître fondeur.



Cette manière de faire était particulièrement délicate pour les pièces de grande dimension ; il fallait tenir compte surtout des effets de dilatation. Remarquons, en effet, que si l'enveloppe est maintenue à une température moyenne de 40 degrés, il peut se produire entre cette enveloppe extérieure et la chemise une différence de température de 80 degrés, donnant lieu à une inégalité d'allongement d'un millième, par dilatation; il en résulte une tension moléculaire du métal, qui suffit pour provoquer des ruptures. Il naît dans les fibres chauffées une compression, et une tension dans celles qui sont moins chaudes : ces effets contraires prennent souvent une grande importance.

Le refroidissement inégal du métal dans le moule, dans lequel il a été coulé, suffit d'ailleurs pour faire naître en certains points des tensions internes, d'où résultent des retraits spontanés, capables d'amorcer des fissures qui ne se manifesteront qu'après mise en service du moteur. Quand on fait venir d'une pièce le cylindre et son enveloppe, il importe donc d'employer des fontes de première qualité, de veiller avec le plus grand soin à laisser aux noyaux du moule une certaine élasticité et d'opérer le démoulage avec précaution ; de plus, il faut donner à la pièce une forme aussi symétrique que possible, proscrire tout angle vif dans les raccords des tubulures et éviter toute surépaisseur du métal en ces points; les enveloppes devront surtout être très spacieuses. Il convient que l'eau de réfrigération qui y circule présente la température la plus basse et la vitesse la plus grande au niveau des parties les plus exposées à chauffer ; cette eau devra du reste rafraîchir toutes les parties du cylindre. Les trous ménagés dans l'enveloppe pour en permettre la visite et le nettoyage, seront utilisés par le fondeur pour constituer de solides supports du noyau et faciliter le désablage des cavités intérieures, dans lesquelles aucune armature de noyau ne devra rester. Enfin, les pieds par lesquels le cylindre repose sur les fondations doivent permettre les mouvements inévitables de dilatation : on ménage quelquefois dans ce but une liberté déterminée aux pieds d'arrière, l'avant étant seul attaché rigidement au bâti. Pour réaliser une parfaite symétrie de la pièce de fonte par rapport à son axe, on a même eu l'idée de supprimer les pieds de cylindre, ce qui est une solution ingénieuse de la difficulté.

Les Ateliers de Nuremberg, la Société Alsacienne, la maison Cockerill, MM. Soëst et d'autres encore ont longtemps conservé cette pratique de fondre cylindres et enveloppes d'une pièce, et il ne paraît pas que ces constructeurs aient eu à subir de plus nombreux accidents que les autres. La figure 316 montre en particulier la coupe d'un cylindre de Nuremberg, remarquable par la grande capacité donnée à la chemise d'eau : les cotes marquées sur le dessin de ce cylindre, qui mesure 780 de diamètre, permettent de juger avec quel soin le dessinateur a évité toute surépaisseur en n'importe quel point. Les soupapes d'admission sont montées en A, à côté des soupapes de mélange disposées en M, à côté d'elles; l'entrée du gaz se fait par le milieu du cylindre au-dessus de C.

Dans les plus puissantes machines à double effet, avec cylindres en tandem,



de la Compagnie de Nuremberg, toute la distribution est supportée par l'enveloppe des cylindres, de sorte qu'on n'a à toucher à aucune pièce de la distribution quand on démonte les cylindres en vue de procéder à leur visite. C'est un avantage très appréciable de cette construction. Les cylindres sont pourvus de sortes de trous d'homme, faciles à ouvrir, qui permettent un examen sommaire de l'intérieur. Pour les nettoyages périodiques qui s'imposent, lorsqu'on emploie des

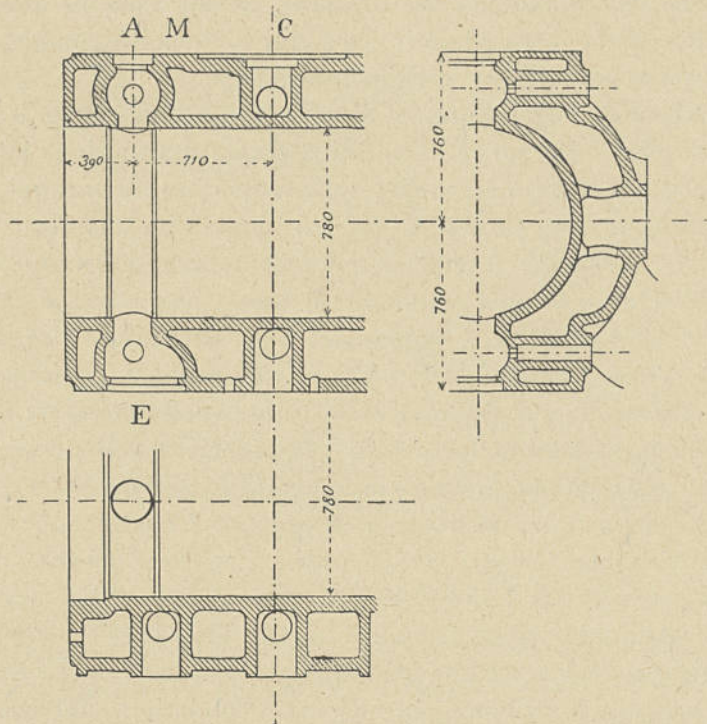


Fig. 316. — Cylindre M. A. N.

gaz donnant des dépôts, il faut pouvoir enlever aisément les fonds et retirer au besoin les pistons : ce travail a été prévu par le constructeur et s'effectue sans embarras. Les fonds des cylindres, considérablement allégés, glissent sur les tiges de pistons tout en s'appuyant sur les tables de frottement des crosses; quant aux pistons, on les retire l'un par l'avant, l'autre par l'arrière, après avoir défait la jonction de leurs tiges. Tout cet ensemble présente le caractère d'une chose longuement étudiée et réalisée avec une parfaite intelligence des besoins des moteurs.

Des fentes se produisent dans des cylindres de ce genre, quelquefois en *ab* ou en *cd* (fig. 317); il ne faut pas les attribuer à la dilatation, mais plutôt à une tension exagérée des boulons assujettissant les couvercles sur les brides du cylindre. Au contraire, des fêlures déclarées en *ef* ou bien en *gh* relèvent, le plus souvent, de cette cause, surtout lorsque les raccords se font sur le cylindre par un angle aigu, tel que celui qui a été indiqué à dessein en *g*. La *Gasmotoren-*



*fabrik Deutz* a pris des précautions très rationnelles contre ces accidents, et elle a développé considérablement les arrondis en *g* et en *f*; de plus, elle donne à la paroi extérieure *m* de l'enveloppe une épaisseur supérieure à celle de *n*, afin que celle-ci soit mieux refroidie par l'eau et qu'elle ne puisse exercer d'efforts nuisibles sur l'enveloppe. Des tuyaux spéciaux amènent du reste l'eau dans la partie *bc*, qui risquerait de n'être pas touchée par la circulation générale. Ce sont là de menus détails, dont l'influence est plus grande qu'on ne pourrait le croire.

Mais l'ingéniosité des constructeurs a multiplié les solutions du difficile problème des cylindres.

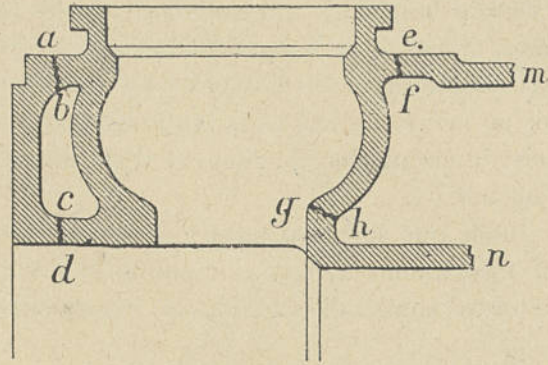


Fig. 317. — Fentes de cylindres.

En coupant la chemise en deux, au milieu de sa longueur, et en raccordant les deux parties par un joint, on a trouvé un autre remède contre les dilatations inégales, en même temps qu'on facilitait le désablage des capacités internes dont les noyaux sont quelquefois difficiles à dégager : cette solution rationnelle, quoique un peu compliquée, a été adoptée par la maison Kœrting et par d'autres. La Société de Winterthur s'est arrêtée à une disposition de ce genre, entièrement symétrique par rapport au milieu du cylindre ; la Société Alsacienne a établi un type du même concept, la chambre d'eau étant fermée à sa partie centrale par deux parties semi-circulaires rapportées et boulonnées ; la chemise est

encore renforcée par des entretoises traversant l'enveloppe d'eau, pour lui donner plus de résistance.

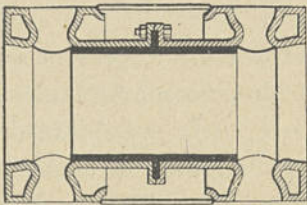


Fig. 318. — Cylindre Galloway.

Dans le moteur Von Oechelhaeuser, à deux temps, la chemise intérieure est coupée en deux tronçons, reliés par un bout, alors que l'autre extrémité reste libre ; ces tronçons sont du reste indépendants de l'enveloppe, ce qui est important dans l'espèce.

Le cylindre Galloway est fondu en deux parties, ainsi qu'on le voit sur la figure 318; elles sont posées à force sur une chemise intérieure, de fonte spéciale; l'enveloppe d'eau de réfrigération est formée par une couverture cylindrique, en tôle d'acier doux, appuyée sur deux épaulements, portant un joint au caoutchouc. Cette construction permet de couler les deux parties avec une grande masselotte sur les brides, les logements des soupapes en bas : on obtient de la sorte une plus grande homogénéité du métal. Pour empêcher tout déplacement de la chemise intérieure, elle



est pourvue d'un bourrelet engagé entre les deux brides des demi-cylindres. Ces dispositions sont intéressantes.

La *Maerkische Maschinenbauanstalt* a coupé le cylindre en trois, les soupapes étant portées par les deux parties extrêmes.

Les ingénieurs de Cockerill ont cherché à lutter par la force contre les effets de tension anormale qui naissent dans la fonte, en reliant les brides par des tirants, noyés dans l'eau de l'enveloppe, qui apportent un supplément de résistance considérable et peuvent conjurer les ruptures. Cet exemple a été suivi, mais on ne l'a pas fait toujours judicieusement ; il faut éviter, en effet, de contrarier la circulation de l'eau, et il est assez difficile de se rendre compte de ce qu'on fait (1).

Quelle que soit la disposition adoptée pour le cylindre et son enveloppe, il faut absolument éviter, aux points où les boîtes à soupape s'implantent sur le cylindre, toute saillie anguleuse ; l'épaisseur plus grande de la fonte, d'une part,

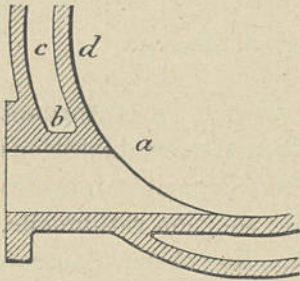


Fig. 319. — Fente de cylindre

et, d'autre part, le contact plus étendu du métal avec les gaz extrêmement chauds de l'explosion amènera fatalement des élévations de température localisées en quelques points, d'où résultent des craquelures, puis des fissures qui se propageront dans la paroi. Nous avons constaté ces effets plusieurs fois et notamment dans un cas représenté par la figure 319 : la pointe *a* n'avait pas été abattue et il s'y était produit des fentes rayonnantes, qui avaient compromis la résistance du cylindre. La surépaisseur *ab* atteignait 75 millimètres, alors que la paroi n'avait en *cd* que 45 millimètres.

Les grands cylindres, à chemise intérieure séparée et amovible, présentent des difficultés d'un autre genre, mais ils sont malgré tout plus recommandables ; l'avantage de pouvoir faire le manchon en fonte plus dure, et la possibilité de le remplacer quand il est ovalisé, est d'ailleurs très appréciable ; la chemise peut se dilater indépendamment de l'enveloppe, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer.

Celle-ci est souvent faite en acier coulé, la chemise ou fourrure intérieure en fonte dure à grain serré, de 25 millimètres d'épaisseur. Cette construction est coûteuse, mais le sacrifice est justifié par les excellents résultats obtenus.

Pour faciliter encore mieux la dilatation, la maison Otto de Deutz a pris quelquefois la précaution, exagérée peut-être, de faire un joint élastique entre la chemise et le fond (fig. 320) ; le fond C presse sur la chemise E, mais en prenant

1. MEYER, *Stahl und Eisen*, 1905, n° 3.



appui sur la vis qui traverse une couronne *a*, maintenue par l'anneau *b*, que le ressort *R* pousse en avant. Le dispositif est ingénieux, mais bien compliqué et de construction difficile ; son prix de revient pourrait être hors de proportion avec le résultat cherché et obtenu.

La circulation de l'eau dans les enveloppes des cylindres et les culasses doit être rationnellement et méthodiquement établie, l'eau la plus froide baignant abondamment les parties qui ont le plus grand besoin d'être réfrigérées ; quoi qu'on fasse, celles-ci chaufferont toujours ; comme il est à craindre que le liquide ne trouve un chemin plus court que celui qu'on veut lui faire suivre, on dirige l'eau par des tuyaux intérieurs jusqu'aux derniers recoins des enveloppes et dans les cavités les plus profondes, dans lesquelles une stagnation du liquide tendrait à se produire.

La partie la plus chaude d'un cylindre à double effet est située au voisinage de la soupape d'échappement ; on peut estimer qu'en ce point, si on ne le refroidissait pas, la surface interne du métal pourrait atteindre 600° ; les allumages prématurés se produiraient donc infailliblement. Les culasses et les faces du piston monteraient à 500° ; les soupapes d'admission et le milieu du cylindre à 350°. En faisant circuler de l'eau dans les soupapes de décharge et leur siège, dans les culasses et autour des cylindres, on peut faire descendre les températures à 450, 200 et 150°, alors même que l'eau ne sortirait des parties réfrigérées qu'à une température de 50 à 60° : ces températures sont acceptables et compatibles avec une bonne marche du moteur ; chercher à les abaisser davantage aurait pour effet d'exagérer les actions de paroi et de diminuer sensiblement le rendement.

La théorie est impuissante à déterminer exactement, pour une machine donnée, fonctionnant dans des conditions déterminées, le minimum d'eau de refroidissement qu'il est nécessaire de lui servir pour assurer une entière sécurité de fonctionnement. La pratique courante des constructeurs consiste à fournir environ 20 kilogrammes d'eau, à 15°, par cheval-heure effectif pour le cylindre et les culasses avec leurs stuffing-box : on organise la distribution pour pouvoir donner 25 kilogrammes en surcharge prolongée, ou par les grandes chaleurs de l'été, alors que l'eau est admise à 25° ou plus. La pression de l'eau doit être d'au moins 1,25 à 1,5 kilogrammes ; on calcule les sections des canalisations en admettant une vitesse d'écoulement de un mètre par seconde au plus.

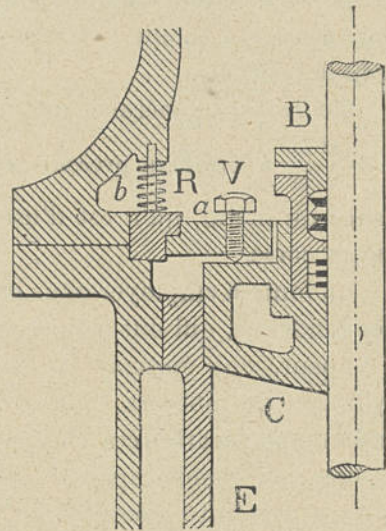


Fig. 320.  
Assemblage élastique de cylindre et bâti.



En général, l'eau froide entre par les parties les plus basses et l'eau chaude s'échappe par les points hauts; mais il importe que la sortie du liquide soit visible, de façon à ce qu'on ne puisse ignorer un arrêt accidentel dans le service des eaux; on ramène habituellement tous les orifices d'écoulement vers un point unique, placé à portée de la main, facilement accessible et bien en vue. MM. Schneider du Creusot placent des thermomètres à cadran sur chaque sortie d'eau.

Il est rationnel de refroidir moins énergiquement la partie moyenne des cylindres à double effet, dans laquelle s'opère la détente, d'abord parce que cette région tend à moins s'échauffer, et ensuite parce qu'il y a avantage à ne pas trop la refroidir.

On calcule généralement l'épaisseur des parois du cylindre par la formule  $e = \frac{P D}{2 R}$ , P étant la pression explosive, D le diamètre du cylindre et R la résistance du métal, qu'il est d'usage de faire travailler à 2 kilogrammes par millimètre carré.

La fonte à employer pour la coulée des cylindres doit être de qualité spéciale; des fonderies, qui ont acquis une juste notoriété pour les cylindres de machines à vapeur, ont éprouvé de lamentables échecs quand elles ont entrepris les cylindres de moteurs. Il faut recommander des fontes aciéreuses, c'est-à-dire légèrement décarburées, et elles doivent être coulées dans le moule très chaudes et avec une grande rapidité : on est arrivé à remplir des moules de grande dimension en quarante secondes, en versant le liquide par plusieurs poches. Ces opérations demandent l'emploi de tours de main que les fondeurs ne divulguent pas.

La composition chimique des fontes doit être suivie de près; des analyses effectuées incessamment seront le meilleur guide du maître fondeur, qui n'en fait pas assez de cas généralement, préférant employer des procédés empiriques d'examen, dont il faut se défier.

L'usure des cylindres doit enfin préoccuper les constructeurs : elle est généralement plus grande vers les extrémités qu'au milieu, dans la verticale que sur l'horizontale; une usure de 1 millimètre en douze mois, au début du fonctionnement, est normale pour un cylindre de 800 millimètres de diamètre.

### **Presse-Étoupe.**

Ce mot a cessé d'être exact pour les puissants moteurs, pour lesquels les étoupes ne seraient pas tolérables, et dont les joints sont constitués par des segments élastiques en fonte, et des garnitures en métal antifricction, serrées contre la tige par un moyen quelconque.

Les stuffing-box ont causé de graves difficultés aux premiers constructeurs de moteurs à double effet; un excès de serrage procurait l'étanchéité, mais les



tiges chauffaient et s'usaient; en voulant éviter cet inconvénient, on s'exposait à des fuites désagréables et nuisibles à tous égards.

On a longuement tâtonné avant de trouver le moyen d'établir de bons joints aux tiges de piston : chaque constructeur a adopté une solution, qu'il a crue meilleure que les autres, jusqu'au jour où les déceptions sont venues. On s'est livré alors à de laborieux essais; je sais des moteurs dont les stuffing-box ont été changés et modifiés maintes fois.

Quelques ingénieurs étaient partisans du métal blanc, dont on fabriquait des bagues coniques, emboîtées les unes dans les autres : mais cette disposition exposait à faire brider les tiges et l'on était exposé à des échauffements, qui amenaient la fusion du métal. Celui-ci ne doit pas être trop fusible.

D'autres n'admettaient que les garnitures en fonte : elles se composaient de cercles, analogues aux cercles de piston, mais à tension inverse, exerçant donc leur pression sur la tige. Ils étaient ajustés dans des logements cylindriques, qui ne touchaient pas la tige et permettaient à celle-ci un certain mouvement.

Pour faciliter leur montage, on coupait quelquefois les cercles en trois segments; on les garnissait souvent d'antifricition, pour assurer un meilleur frottement.

On a employé des ressorts à boudin pour faire pression sur ces segments : cette pratique a donné de graves ennuis, parce que ces ressorts perdaient de l'élasticité par recuit; d'autre part, j'ai vu ces ressorts déterminer des allumages prématurés, alors qu'ils se trouvaient sans doute portés au rouge.

L'idée est venue à quelques-uns de garnir la tige de cercles entièrement analogues à ceux du piston; la tige portait donc des rainures, dans lesquelles on plaçait des cercles, petits et nombreux, qui venaient s'appliquer par réaction élastique sur la paroi intérieure d'une boîte cylindrique, et formaient un joint mobile, tout à fait semblable à celui du piston dans le cylindre moteur. L'étanchéité était satisfaisante et la tige gardait une grande liberté; mais le montage présentait des difficultés et cette solution du problème ne s'appliquait qu'à des cas très particuliers.

Aujourd'hui, tous les modèles se sont uniformisés; ils se rapprochent beaucoup du type de la figure 321, qui est celui de la Société de Nuremberg.

Ce stuffing-box, logé dans la culasse refroidie par un courant d'eau, est constitué en deux parties; vers le cylindre, des cercles de fonte, à serrage automatique, sont logés dans des boîtes annulaires de même métal, et ils assurent déjà une étanchéité satisfaisante; mais une seconde garniture la complète. Celle-ci est formée d'anneaux alternés de fonte et de métal blanc, emboîtés les uns dans les autres et présentant des surfaces de contact coniques, de telle sorte qu'ils agissent les uns sur les autres à la façon de coins; en augmentant le serrage du couvercle du joint à l'aide des boulons dont il est muni, on se réserve le moyen d'obvier à l'usure du métal. Il est à remarquer que la température de



cette partie du stuffing-box est beaucoup moins élevée que celle qui est contre le cylindre.

Le graissage de ces stuffing-box s'effectue le mieux par une pompe, qui refoule l'huile dans une chambre intermédiaire, placée au milieu du bourrage, entre les deux séries de cercles.

L'huile est quelquefois amenée par deux canaux aboutissant l'un au milieu de la garniture intérieure à segments de fonte, l'autre dans les joints coniques en métal blanc.

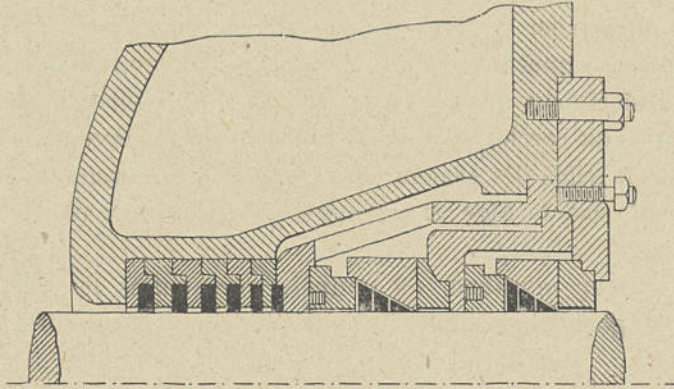


Fig. 321. — Stuffing-box de Nuremberg.

On a proposé de mettre le milieu du stuffing-box et la chambre annulaire, qui se trouve ménagée entre les garnitures, en communication avec la conduite d'échappement des gaz brûlés de la décharge; les gaz, qui auraient pu atteindre cette chambre, sous la poussée explosive, trouvent ainsi un dégagement. L'idée est ingénieuse et rationnelle, mais elle crée une nouvelle complication d'organes, dans des machines qui sont déjà fort complexes, et qu'il faut chercher à simplifier le plus possible.

Les concrétions d'huile qui se forment dans les bourrages obligent à des nettoyages fréquents et imposent par suite un démontage facile de ces organes.

Le stuffing-box breveté sous le nom de Schwabe est d'un bon usage : les segments en fonte sont en trois pièces pressées vers l'intérieur par des ressorts. Ce modèle a été reproduit plus ou moins servilement par de nombreux constructeurs.

### Fonds de cylindres et culasses.

La forme des culasses est un élément de succès ou d'insuccès des moteurs à gaz : beaucoup de constructeurs l'ont appris à leurs dépens. Il importe, en effet, qu'elles ne présentent aucun angle saillant, ni aucune cavité pouvant servir de support ou de réceptacle à des concrétions solides; le danger est plus grand dans



les machines qui compriment fortement des mélanges riches. Le refroidissement doit s'exercer sur tous les points de la pièce, laquelle ne devra par suite présenter aucune masse métallique compacte dont la température puisse être portée au rouge, par défaut de réfrigération. En particulier, les canons de guidage des tiges de soupape et les sièges de ces soupapes devront être conservés relativement froids, si l'on veut assurer leur durée. Un échauffement exagéré des annexes de la culasse a pour résultat de réduire la masse du mélange tonnant et de faire baisser le travail dans les moteurs à admission constante : cet effet se manifeste sur le diagramme par une diminution notable de la pression explosive. Les explosions intempestives sont une autre conséquence d'un défaut de refroidissement des organes : il est rare que le métal rougisse et qu'il opère de lui-même la mise de feu du mélange tonnant; aussi ce sont plus souvent des concrétions charbonneuses, produites par les huiles de graissage, qui servent de brandons d'allumage prématuré; il importe donc d'empêcher leur accumulation dans la chambre de compression. C'est pour ce motif qu'on a renoncé à placer les soupapes de décharge sur le côté du cylindre : il fallait en tout cas les mettre au niveau de la génératrice inférieure du cylindre, de telle sorte que les huiles et les graisses trouvent un écoulement facile. En les disposant sur le fond du cylindre, au-dessous de la soupape d'admission du mélange, on peut espérer les refroidir un peu par le passage du mélange froid admis, bien que cet effet soit peu énergique et assez illusoire; on trouve qu'il y a ainsi avantage de réunir les organes à réfrigérer et de faciliter par suite la chose. Mais cette réfrigération par une circulation d'eau énergique et active s'impose alors plus impérieusement et nous ne saurions trop insister sur ce point, au risque de nous répéter et de lasser le lecteur par ces redites.

Il est à recommander de faire entrer l'eau dans la circulation entourant les soupapes et de la reprendre par le haut de l'enveloppe du cylindre.

Le balayage des culasses par une chasse d'air froid a l'avantage de contribuer au refroidissement des parois de la culasse, en même temps qu'il les débarrasse des gaz brûlés et assure par suite un allumage meilleur. C'est donc une pratique rationnelle.

Dans les moteurs des anciens systèmes, réglés par le système du tout ou rien, on observait fréquemment qu'à la suite de plusieurs passages à vide, il se produisait une compression plus forte; les appels d'air froid avaient purgé le cylindre des gaz chauds de l'explosion précédente, rafraîchi les parois intérieures, les canaux et les soupapes et, à volume égal, la masse de la charge avait augmenté. Cet effet était évidemment plus marqué pour les culasses insuffisamment réfrigérées.

L'influence de la forme des chambres de culasse s'exerce très sensiblement sur le rendement de la machine : on me pardonnera donc d'insister sur cette question.

Les chambres courtes, en calotte sphérique ou en paraboloïde, régulières,



placées sur le prolongement de l'axe du cylindre, communiquant largement avec lui, sont l'idéal, au double point de vue de la construction mécanique et du fonctionnement. On fera occuper le fond de la chambre par les soupapes d'admission et de décharge, en les disposant verticalement l'une au-dessus de l'autre, sur un même axe. Il est bon de placer la soupape d'échappement au point le plus bas, de manière à assurer une évacuation rapide et complète des huiles, qui s'accumulent dans le cylindre.

Mais des considérations spéciales ont conduit à l'adoption d'autres formes.

Otto avait eu l'idée de terminer sa culasse par une partie étranglée, dans laquelle il cantonnait un mélange plus riche, pour former une sorte de cartouche d'allumage : les mises de feu étaient de la sorte effectuées dans les meilleures conditions, quelle que fût la pauvreté du mélange, et malgré les faibles compressions pratiquées alors. Aujourd'hui l'allumage est grandement facilité par les hautes compressions en usage, et le dard de flamme d'Otto n'est plus nécessaire. Mais certains constructeurs ont continué de prolonger la culasse par un long canal rétréci, sur lequel ils placent les soupapes d'admission et d'échappement et les appareils d'allumage ; or, l'expérience montre que cette forme ne conduit pas à de bons résultats, alors qu'on ne charge plus ce réduit d'un mélange plus riche. Les diagrammes font voir que l'explosion n'est pas franche ; elle paraît se faire en deux temps. La flamme, née dans la partie rétrécie, est refroidie et ce n'est qu'avec un certain retard qu'elle allume la masse renfermée dans le cylindre. De plus, ces antichambres ont le défaut de retenir une atmosphère de gaz brûlés autour de l'appareil inflammateur et elles donnent lieu à un allumage retardé.

C'est de la forme des chambres d'explosion que résulte l'obligation de donner à certains moteurs une énorme avance *apparente* à l'allumage, correspondante quelquefois à un angle de manivelle de 50 à 60° avant le point mort, alors qu'il suffit de 5 à 7° pour une machine bien conditionnée. Je reviendrai plus loin sur cette question, que je me contente de signaler ici.

La maison Koerting a rapporté la chambre d'explosion latéralement au cylindre et nous avons déjà dit que cet exemple a été suivi par plusieurs firmes ; cette disposition, critiquable en principe, présentait quelques avantages de construction et elle était en somme défendable pour les puissantes machines ; mais il fallait s'occuper de l'écoulement des huiles et faciliter la mise de feu, en employant deux bougies.

Dès que les machines prennent une certaine importance, la question de la réfrigération s'impose d'une manière plus impérieuse. Les fonds de ces moteurs sont toujours à irrigation d'eau et l'on doit veiller à ce que la circulation du liquide y soit très active, car la température de ces pièces pourrait devenir très élevée et provoquer des fentes et des ruptures ; d'autre part, il faut refroidir le stuffing-box, qui y est renfermé, pour empêcher la décomposition des huiles de graissage.



La figure 322 montre la disposition habituelle de cet organe; on y voit les deux logements distincts D et E des cercles de fonte, et des anneaux coniques à métal antifriction, ainsi que la spacieuse chambre d'eau qui les entoure.

Le constructeur doit se préoccuper, en dessinant les formes des culasses, de la possibilité de visiter le cylindre et de nettoyer les soupapes et leurs sièges par l'intérieur; il faut, à cet effet, ménager à l'avant et à l'arrière du cylindre un

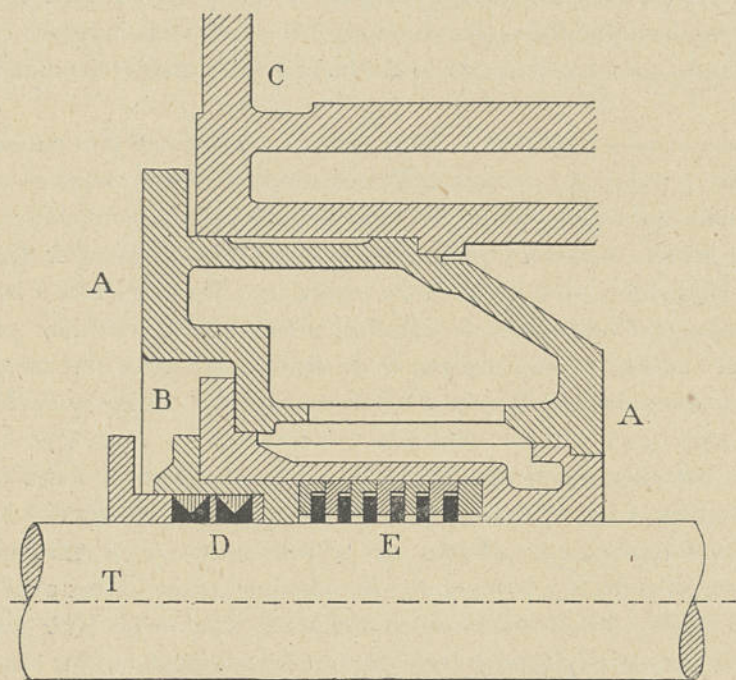


Fig. 322. — Fond de cylindre.

espace suffisant pour y placer les culasses, en les faisant glisser sur la tige du piston, et en les repoussant contre la crosse. Cette manœuvre est un peu plus difficile pour les moteurs à deux cylindres en tandem, que l'on a intérêt, d'autre part, à rapprocher le plus possible l'un de l'autre : elle impose de découper les tiges des deux pistons, qui sont réunies par la crosse intermédiaire, et de les refouler l'une vers l'avant, le plus qu'on le peut, l'autre vers l'arrière, en amenant les pistons tout contre les fonds; dans ces conditions, un homme accède facilement aux deux cylindres, par l'avant et par l'arrière. Il importe que ces opérations puissent s'effectuer sans avoir à toucher à aucun organe de distribution. Cette obligation, qui n'a pas besoin d'être justifiée, a fait abandonner le dispositif, adopté au début, des culasses portant les soupapes : les formes compliquées de ces pièces les exposaient, du reste, à des ruptures fréquentes et leur manœuvre était extrêmement pénible.

Les cylindres en tandem sont reliés entre eux par une entretoise en fonte, qui porte la glissière sur laquelle repose la crosse de la tige; les diamètres de ces



entretoises et les ouvertures pratiquées à la partie supérieure doivent permettre les mouvements des fonds dont il vient d'être parlé, et il faut même envisager en les dessinant l'éventualité de la sortie de ces fonds. La machine de Nuremberg a réalisé parfaitement ces diverses conditions.

Dans les moteurs Diesel à quatre temps, la culasse a une forme cylindrique, et elle est fermée par un fond plat ou légèrement incurvé. La disposition des soupapes en fait une pièce dissymétrique et compliquée, dont le refroidissement présente des difficultés. Des diaphragmes verticaux, disposés radialement, relient les fonds dans les zones où cette liaison est compromise par le logement des soupapes.

En moteurs semi-Diesel, il a fallu étudier les formes des culasses, en vue d'une parfaite pulvérisation du carburant et de l'allumage : nous en avons décrit les dispositions habituelles dans les monographies de ces machines. Elles présentent une grande variété : quelques-unes sont fort originales. Telle est celle du moteur Blakstone, qui porte deux injecteurs ; l'un projette l'huile dans la boule d'allumage, l'autre dans le cylindre même : cette dernière portion, plus copieuse que l'autre, est allumée par le dard de chalumeau sortant de la boule, et pénétrant dans le cylindre par un trou oblique, dirigé vers le deuxième injecteur.

Dans les moteurs légers d'autos et d'avions, le problème des cylindres et des culasses gardait la même importance, mais il devait recevoir des solutions particulières. Malgré les avantages des cylindres en acier emboutis ou pris dans la masse, on continua de les couler le plus souvent en fonte : avec des pistons en fonte, on réalise des contacts autolubrifiants, dont il ne faut pas dédaigner les avantages. Au lieu de fonder les cylindres séparément, on les réunit souvent en monoblocs, pouvant recevoir quatre, voire même six cylindres : on arrive ainsi à raccourcir les vilebrequins. Les canalisations d'admission sont noyées dans l'enveloppe d'eau.

Les culasses sont, d'ordinaire, hémisphériques et elles portent les deux soupapes, disposées symétriquement ; quelquefois, celles-ci sont placées dans des chapelles séparées, à droite et à gauche de l'axe. Maintenant qu'on a renoncé aux soupapes d'aspiration automatiques, il est plus rare de les loger dans une chapelle unique, l'une au-dessus de l'autre ; on les rangerait plutôt côte à côte.

Une inégalité considérable entre les volumes des chambres de compression des machines polycylindriques ne laisserait pas que de présenter quelques inconvénients : on doit donc veiller à ce que ces chambres aient autant que possible la même capacité. On s'en assure aisément à l'aide de l'appareil acoustique de M. Charron, dont nous avons donné la description dans notre tome premier, à la page 414. Les usines Peugeot et Salmson en ont fait usage et ont fourni à l'inventeur les meilleures références. Le procédé est très rapide, car il suffit de démonter la bougie d'allumage : l'opération dure quelques minutes à peine et les résultats obtenus sont exacts à un ou deux centimètres cubes près.



On pourrait même se rendre compte de la sorte d'un encrassage considérable et accidentel d'une des chambres, par l'inégalité d'effets sonores qui en résulterait dans l'appareil Charron; si l'on observait dans le fonctionnement du moteur des vibrations anormales ou un boitement sensible, il serait prudent d'en rechercher la cause, qui pourrait résider dans une dissymétrie des chambres de compression.

On attache le plus grand prix, dans les moteurs légers à grande vitesse, à assurer un parfait refroidissement des soupapes d'échappement et de leurs sièges : on entoure entièrement ceux-ci d'une circulation d'eau séparée.

### Bâtis et Paliers.

La forme des bâtis s'est beaucoup modifiée depuis le début de la construction des moteurs.

Toujours en fonte, affectant la forme d'une cuvette, ils se terminaient à l'arrière par une portée, sur laquelle était boulonné le cylindre : les faces latérales portaient à l'avant les paliers de l'arbre, d'ordinaire disposés horizontalement, quelquefois inclinés vers l'intérieur, ce qui était logique; l'inclinaison vers l'extérieur n'avait, au contraire, aucune raison d'être. L'ensemble reposait sur un socle plus ou moins élevé, et le cylindre se trouvait placé en porte-à-faux. Pour augmenter la stabilité, on en vint d'abord à faire reposer le cylindre sur un pied. Puis on diminua la hauteur du bâti et l'on fut conduit, pour abaisser de plus en plus le centre de gravité, à faire un bloc compact du cylindre et du bâti et à engager la base dans le massif des fondations. C'est la forme du bâti dit allemand : il n'est pas démontré qu'elle ait été inventée en Allemagne, mais elle réalise bien la lourdeur et la masse appréciée par le goût germanique; elle est du reste logique et hautement recommandable.

Le bâti présente ainsi un grand empattement, qui lui donne de la stabilité; le cylindre est soutenu sur toute sa longueur, son enveloppe fait corps avec la pièce principale, et l'on écarte la possibilité de toute flexion pouvant amener une rupture. Le bâti porte les supports de l'arbre latéral et la culasse est rendue indépendante du reste.

Cette forme a pu être appliquée aux plus puissantes machines : le fourreau du bâti sert encore d'enveloppe d'eau au cylindre et on l'utilise comme guide de la crosse de la tige du piston.

Delamare-Deboutteville avait adopté pour le Simplex le bâti à baïonnette des machines Corliss; l'arbre n'était plus coudé, mais il portait en bout une manivelle, et il reposait d'autre part sur le palier du bâti et sur un contre-palier. Très séduisante en principe, cette forme n'a pas été acceptée et l'on est resté aux vilebrequins, tout en gardant quelque chose du bâti Corliss : en effet, le bâti de Nuremberg, par exemple, est formé de deux bâtis Corliss encadrant



par la droite et par la gauche le cylindre, qui est ainsi parfaitement enserré par ces deux longerons de fonte. Toutefois on tend à reprendre le bâti du Simplex.

Depuis que l'on a abordé la construction de machines de milliers de chevaux, les bâtis ont pris une importance énorme : on a parlé de poids de 70, voire même de 80 tonnes, pour certains moteurs construits en ces dernières années. Leur base a pris un très grand développement. La glissière de la crosse et le collier, servant d'attache au cylindre, sont usinés du même coup. Les longerons sont creux, souvent renforcés par des nervures intérieures. Des ouvertures latérales sont ménagées pour permettre de surveiller et d'atteindre les boîtes à bourrage.

La Société Alsacienne refroidit les glissières de crosse et le coussinet inférieur des paliers principaux par une circulation d'eau.

Les paliers de l'arbre de couche sont munis de coussinets en bronze ou en métal blanc antifricition, qu'une portée fixe empêche de tourner. Ce métal sert souvent de garniture : il est coulé dans des coquilles en fonte, en acier, quelquefois en métal delta, et forme une forte saillie sur les faces externes, pour servir d'appui au congé du larmier du tourillon. On doit compter sur un fort retrait du métal blanc ; il n'y a pas d'inconvénient, du reste, à laisser un certain jeu latéral.

Les paliers présentent sur leurs faces des gouttières creuses collectrices d'huiles : on doit ménager sur le côté une ouverture, permettant de nettoyer le bain d'huile.

Ce n'est guère que dans les puissantes machines qu'on fait usage de coussinets en quatre pièces, permettant de rattraper le jeu de l'usure dans les deux sens horizontal et vertical : dans ce cas, le couvercle des paliers est à emboîtement.

Dans les groupes dits électrogènes, dont les arbres sont plus longs et plus chargés, puisqu'ils portent un volant et un rotor, un palier extérieur devient nécessaire ; sa forme et sa disposition ne diffèrent pas en principe de celle du palier principal, mais ses dimensions sont moindres, attendu qu'il ne supporte qu'une partie des poids des organes mobiles. Il faut, pour faciliter le montage du groupe, permettre de déplacer ce palier à volonté ; à cet effet, on le boulonne sur une semelle en fonte, portant des trous ovales dans deux directions perpendiculaires.

Dans ces machines, il y a lieu de soigner tout particulièrement le palier extérieur au moteur, parce que la flexion de l'arbre intervient alors et tend à produire des échauffements. On y a obvié en faisant porter le coussinet sur une base sphérique, qui lui permet de se prêter à la déformation de l'arbre ; quelques constructeurs donnent aussi à leurs monteurs la consigne de surélever très légèrement le palier extérieur de quelques dixièmes de millimètre.

Dans les moteurs jumelés, on surélève de même les paliers extrêmes par rapport à celui du milieu.



Pour éviter les projections d'huile, il convient d'attacher le plus grand soin à l'ajustement des joues du coussinet; d'ailleurs, on enferme les paliers dans des carters, qui recueillent l'huile et la dirigent vers une chambre où elle est reprise par la pompe à huile.

Les premiers moteurs de grande puissance qui ont été construits présentaient souvent le grave inconvénient de donner lieu à des échauffements de paliers : on y obvia en renforçant les dimensions des arbres et des coussinets ; le moyen était simple, mais radical, et il produisit les meilleurs effets. Le poids énorme des arbres, des volants et des masses d'équilibrage exigeait en effet une surface de portée beaucoup plus grande pour les moteurs à gaz que pour les machines à vapeur. On détermine la longueur des coussinets d'après le diamètre du cylindre et la pression explosive prévue.

A partir de 130 millimètres de diamètre, les coussinets se font en fonte de fer ou d'acier avec garniture de métal antifricition : on doit veiller à ce que ce métal ait l'épaisseur strictement nécessaire pour sa résistance propre, sinon il serait exposé à se mater ; une assise conique l'empêchera d'être refoulé latéralement ; enfin le métal dépassera les joues du coussinet, car il y aurait inconvénient à ce que le bras de la manivelle vienne toucher deux matières différentes.

Le graissage s'effectue d'ordinaire par de l'huile sous pression ; le lubrifiant est souvent débité par un réservoir surélevé de plusieurs mètres ; il est repris à sa sortie par une pompe à huile qui le remonte au réservoir. Sa température s'élevant sensiblement, on a eu quelquefois à envisager des appareils de réfrigération à circulation d'eau, dont l'effet est très favorable, mais qui entraînent une complication, devant laquelle les constructeurs reculent souvent : cette réfrigération présente l'avantage de réduire sensiblement la dépense de l'huile de circulation tout en améliorant le graissage.

## II

### ORGANES MOTEURS

#### Pistons.

Les pistons des moteurs à simple effet sont creux : on leur donne une grande longueur, pour suppléer au défaut de guidage résultant de la suppression générale des crosses de tiges de piston. Le bouton d'articulation de la bielle, connectée directement sur le piston, est placé aux deux tiers de sa longueur vers l'avant. Les garnitures de piston sont des cercles de fonte, engagés dans des rainures suivant la pratique dominante des pistons suédois. Sur le devant du piston, on supprime souvent les cercles ; la maison Otto les remplace par une garniture de métal blanc ; d'autres constructeurs ont même essayé des cercles en laiton.



Il est sage de donner au bloc du piston une légère conicité, avec réduction de diamètre sur l'arrière, pour permettre les dilatations et garder au piston la liberté de ses mouvements, sans frottement exagéré. En prolongeant le cylindre sur l'avant et en donnant au piston une plus grande longueur, on a assuré une meilleure étanchéité, réduit l'usure des cercles et augmenté leur durée.

On construit les pistons en fonte dure, et on les fait aussi légers que possible : mais pour augmenter leur résistance mécanique, on donne au fond une forme bombée et on la consolide par des nervures.

On les munit d'au moins cinq segments en fonte tendre : leur jeu dans leur logement ne doit pas être exagéré. L'effort dû à l'obliquité de la bielle, qui applique le piston contre la paroi du cylindre, sera porté uniquement par le bloc et non par les segments.

M. Michelin a proposé d'adapter au piston des moteurs à pétrole le dispositif que Deleuil avait appliqué à sa machine pneumatique et que plusieurs constructeurs ont déjà essayé d'introduire dans les moteurs à grande vitesse. Le piston ne comporterait plus de segments, mais il serait garni simplement d'une série de gorges annulaires, fort étroites, pratiquées sur le pourtour du bloc de fonte : l'expérience montre qu'un tel piston, tourné à un diamètre un peu inférieur à l'alésage du cylindre, et suffisamment long, devient assez étanche aux vitesses linéaires considérables. Les gaz se détendent d'une gorge dans l'autre, avec une vitesse décroissante, sans arriver à les franchir toutes pendant que la course s'effectue. Ce genre de piston n'exige qu'un faible graissage et il n'est pas exposé à gripper : mais le piston doit être guidé avec plus de soin.

Les pistons des moteurs à simple effet d'une centaine de chevaux au plus ne sont pas refroidis, si ce n'est par l'air qui circule dans leur intérieur. Quelquefois on les ventile par l'adjonction d'une palette montée sur le pied de bielle.

Il y a intérêt à empêcher l'échauffement du piston dans sa partie étanche ; à cet effet, on a préconisé divers dispositifs d'isolement du fond.

M. Weyman emploie une matière isolante, telle que l'amiante, le coton sili-caté, ou bien encore un mélange d'amiante et de corps gras, comprimé à la presse hydraulique, pour former une masse compacte, mais plastique ; on sait que ce mélange est employé dans les obturateurs des canons se chargeant par la culasse. La matière isolante est interposée entre le piston et un plateau boulonné sur le fond ; pour l'empêcher de fuser sur les côtés, on peut la loger dans un encastrement circulaire.

Le pivot du piston est en acier doux, cimenté et rectifié ; il affecte une forme conique, à la partie engagée dans les bossages : son diamètre est souvent égal au tiers de celui du piston. La fixation des pivots et leur graissage doivent être particulièrement surveillés.

Les pistons ouverts à simple effet ne se construisent plus guère au delà de 175 chevaux, c'est-à-dire pour les diamètres de cylindres supérieurs à 600 ou 700 millimètres ; au delà de cette dimension, on renonce à attaquer directe-



ment le piston par la bielle et l'on munit sa tige d'une crosse. Un large guidage sur l'avant devient dès lors utile, sinon nécessaire; les constructeurs qui ont enfreint cette règle ont eu souvent à le regretter. On obtient élégamment ce guidage, quand on place deux cylindres à simple effet en tandem, mais on s'impose alors un stuffing-box à l'arrière du premier cylindre.

Il est rare qu'on refroidisse par une circulation d'eau les pistons à simple effet; ce refroidissement s'impose au contraire pour le double effet.

Des précautions sont à prendre pour assurer une circulation efficace. Pour

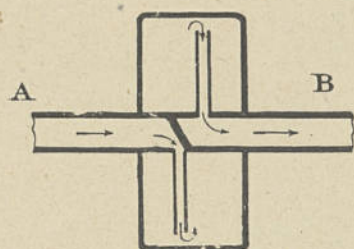


Fig. 323. — Piston à circulation d'eau.

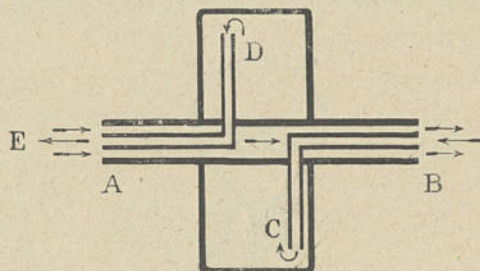


Fig. 324. — Piston à double circulation.

être sûr du mouvement de l'eau et pour empêcher que des bulles de vapeur n'y mettent obstacle en créant des embolies, des doubles conduits de large section sont percés dans la tige; le liquide est amené sous pression par l'un d'eux, fait le tour de la cavité interne du bloc et revient par l'autre, placé en dehors du premier (fig. 323). Le bloc est nécessairement fait en deux pièces. Cette réfrigération des pistons contribue à diminuer les frottements, à réduire la dépense d'huile et à prolonger leur durée et leur étanchéité.

L'eau arrive souvent à l'extrémité arrière de la tige par un tube, couissant dans une partie alésée, munie d'un joint étanche du système Posenauen; les tubes flexibles employés autrefois sont généralement abandonnés. L'eau parcourt la longueur de la tige et arrive à la partie inférieure du piston, d'où elle s'élève à la partie supérieure, pour être reprise par un tube et gagner l'extrémité avant de la tige. Il faut absolument éviter la formation de poches d'air au ciel du piston. L'eau s'écoule souvent par la crosse, dans un canal ouvert parallèle à l'axe de la glissière. Ce dispositif a mes préférences, parce qu'il est le plus simple; on lui a reproché de déterminer une température plus élevée d'un côté de la tige et l'on a alors établi des circulations à tube de retour (fig. 324). Mais ces tubes intérieurs ne sont pas d'un nettoyage aisé et ils peuvent s'entarter. Dans les machines à deux cylindres à double effet en tandem, on introduit souvent l'eau par le milieu de la tige à l'aide d'un bras à rotule.

L'eau doit toujours trouver à sa sortie une soupape chargée, que l'on règle de manière à maintenir une certaine pression de circulation. C'est qu'en effet cette circulation ne s'effectue bien, dans ces organes animés d'un rapide mouvement alternatif de va-et-vient, que si la progression de l'eau est assurée par une



tension suffisante pour garder toujours à l'eau une vitesse relative positive ; la pression sera donc d'autant plus élevée que la vitesse linéaire du piston sera plus grande. Cette pression varie d'ordinaire de 3 à 6 kilogrammes par centimètre carré.

Un excellent moyen d'assurer la continuité de la circulation d'eau, sans coups de bélier, consiste à placer sur la conduite une cloche d'air, ainsi que le montre la figure 325 ; on évite ainsi les effets de marteau d'eau aux points morts de la course, et les embolies de bulles de vapeur sont entraînées par le flux régulier et permanent du liquide.

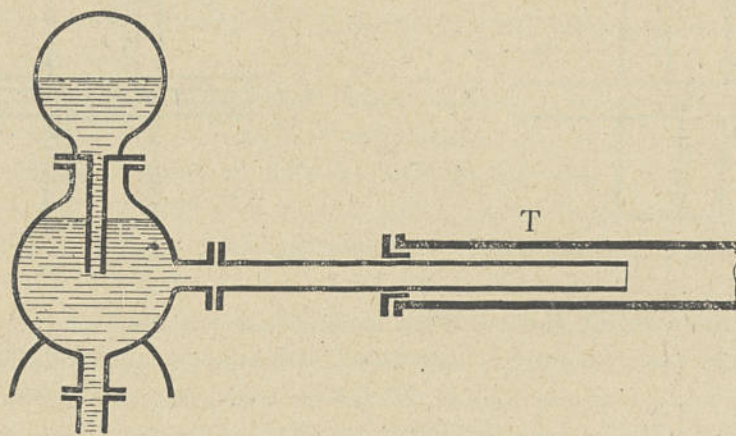


Fig. 325. — Tige à cloche.

On estime à 8 ou 10 litres d'eau, prise à 15 degrés, le volume d'eau nécessaire par cheval-heure effectif, pour maintenir le piston à une température normale ; dans ces conditions, l'eau n'a guère plus de 40 degrés à la sortie.

C'est une bonne pratique de monter sur chaque machine deux pompes pour refouler l'eau, l'une d'elles servant de rechange ; on les fait conduire en bout d'arbre par le moteur, le calage étant fait de manière à ce que la période de refoulement soit synchrone du minimum d'inertie de la colonne d'eau contenue dans les tiges de piston en mouvement.

Les tiges doivent porter entièrement le poids du piston ; on leur donne souvent un léger cintrage vers le haut, pour qu'en service elles restent absolument rectilignes.

Les pistons sont généralement en fonte ; on estime rationnel de les alléger le plus possible et de ne leur donner que la longueur nécessaire pour pouvoir loger les cercles ; leur fond est plat ou arrondi, et les arêtes sont abattues sur la périphérie.

Des ruptures de piston se sont produites dans les puissants moteurs ; nous ne les avons point attribuées aux effets mécaniques des pressions supportées, mais bien plutôt à des dilatations inégales et à des retraits de fonderie ; aussi



recommandons-nous de veiller soigneusement sur ce point, et d'attacher la plus sérieuse attention au dessin des nervures intérieures et à leur répartition ; la figure 326 représente une bonne forme de piston. Quelques ingénieurs ont été d'avis de supprimer totalement ces nervures, en arguant des entraves qu'elles apportent à la libre circulation de l'eau réfrigérante ; cette opinion était trop radicale.

Quelques ruptures n'ont pu être expliquées que par des coups d'eau produits

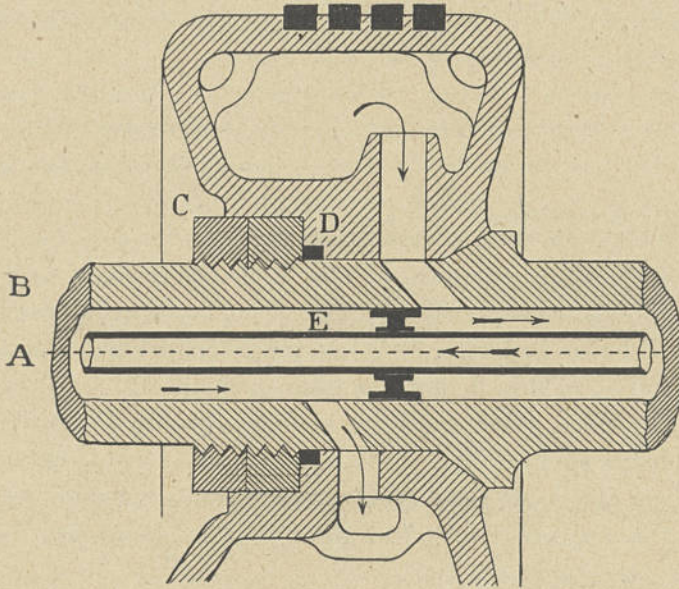


Fig. 326. — Piston à nervures.

à l'intérieur des pistons, lorsque l'eau n'était point servie sous une pression suffisante : le fait est à noter et il faut le prendre en considération.

On fixe d'ordinaire les pistons sur les tiges par un cône et deux écrous à filet trapézoïdal. Dans les moteurs de Reichenbach, le bloc est assujéti sur la tige par deux écrous à filet droit et gauche, ce qui permet de les démonter aussi bien sur l'avant que sur l'arrière.

La pratique des constructeurs (et aussi, disons-le, les accidents qu'ils ont éprouvés) les ont amenés à essayer les formes les plus diverses.

On coule les pistons presque toujours d'une pièce ; le fondeur doit surveiller l'assujettissement des noyaux dans le moule. Il y a avantage à donner une faible épaisseur aux fonds, pour faciliter le refroidissement ; mais alors, il s'impose de les consolider par des nervures. Celles-ci peuvent être longitudinales et aller d'un fond à l'autre.

On a fait des pistons en deux pièces, qu'on a réunies par des boulons noyés intérieurs ; elles sont d'ailleurs rodées l'une sur l'autre. Lorsque la capacité inté-



rieure forme deux chambres distinctes, on peut craindre que la réfrigération ne soit défectueuse.

Il est essentiel que la tige soit parfaitement soutenue, sans permettre au bloc du piston de frotter sur la surface du cylindre ; ce serait, en effet, une grave erreur de compter sur l'étanchéité qu'on pourrait obtenir de la sorte ; ce sont les segments seuls qui doivent faire le joint, par leur tension individuelle. D'ailleurs, les impuretés du gaz et les concrétions d'huile qui tendent à se former dans les cylindres exigent absolument qu'il y ait un jeu entre le bloc et la paroi du cylindre, sinon il se produirait infailliblement et rapidement des détériorations de la surface du cylindre et des ovalisations.

Les tiges des pistons à double effet doivent donc être portées, à l'avant et à l'arrière ; mais elles ne doivent pas appuyer sur les stuffing-box. On réalise un guidage parfait par des crosses à larges patins, posant sur des glissières, parfaitement lubrifiées (1). Ces crosses se construisent en acier au nickel, attendu qu'elles supportent de grands efforts. Certains constructeurs font passer la tige du piston à travers la crosse ; dans ce cas, la crosse d'avant ne peut plus être munie d'un axe, mais il faut lui faire porter deux boutons latéraux, sur lesquels s'articule la fourche de la bielle. Mais ces manetons ne peuvent alors pas être cémentés et trempés, et il faut donc les faire en métal dur.

La Société Cockerill avait établi un beau modèle de piston en deux pièces, qui ne donnait lieu à aucune objection ; chaque moitié s'appuyait sur une embase venue de forge sur la tige, de sorte que les boulons de connexion des deux parties n'avaient point à transmettre l'effort développé sur leur face externe, lequel était exercé directement sur la tige.

On a fait aussi des pistons en acier coulé ; mais ce mode de construction, qui exigeait une garniture en antifriction, ne s'est pas généralisé.

Des fuites d'eau se sont produites quelquefois le long de la tige ; on les a supprimées, en introduisant une bague de cuivre rouge sous l'écrou, dans la loge creusée dans le piston pour le recevoir.

Les segments suédois sont toujours en fonte : il est inutile d'en mettre plus de cinq. Inutile aussi de faire des échancrures obliques ou en échelons, ou d'y insérer des languettes de joint de forme compliquée. Des échancrures perpendiculaires au cercle suffisent, mais il faut qu'elles ne viennent pas en face l'une de l'autre, et qu'elles soient toutes sur la moitié inférieure du piston ; des goujons les empêchent de tourner. Mais j'ai vu souvent des cercles se briser au niveau de ces goujons ; il faut donc leur donner le minimum de saillie.

Une pratique allemande assez répandue, et qui est bonne, consiste à ménager une saignée sur le côté du cercle, à sa partie supérieure, sur quelques centi-

1. Le graissage des glissières exige une attention toute particulière pour les puissants moteurs, dont les patins portent des charges énormes : le graissage par huile sous pression s'impose donc absolument ; ce graissage doit se faire par le milieu du patin. Quelques constructeurs refroidissent les glissières par une circulation d'eau, qui ne paraît toutefois pas nécessaire en général.



mètres de longueur, pour permettre aux gaz de l'explosion de pénétrer dans la rainure et de faire coller le segment sur la paroi du cylindre, en produisant ainsi une fermeture autoclave.

La fonte dont on fait les cercles ne peut pas être phosphoreuse; on doit les couler en une fonte spéciale, qui ne soit pas dure et assure un bon frottement.

Plusieurs constructeurs remplacent la crosse par une traverse, qui sert alors de pivot à la bielle. A l'arrière, la tige est supportée par un sabot, guidé par des longerons, ou bien frottant sur une glissière, dont le centrage doit être parfait.

Dans les moteurs en tandem, les deux tiges sont connectées entre elles par un écrou fileté, sectionné en deux, dont les deux parties sont réunies par de forts boulons, qu'il suffit de dévisser pour pouvoir découper les tiges. Cet écrou repose le plus souvent sur un support (fig. 327) ; on l'utilise pour distribuer vers l'avant et l'arrière l'eau de réfrigération de la tige, l'eau étant débitée par des tubes à genouillères à double articulation.

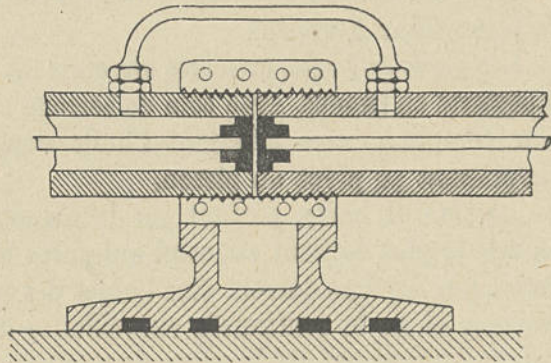


Fig. 327. — Jonction de tiges.

Les tiges de piston se font en acier au nickel ou du moins en excellent acier fondu, possédant une résistance d'au moins 60 kilo-

grammes pour un allongement de 18 %; ce doit être un métal dur, sinon sa surface serait rapidement rayée, au grand détriment de l'étanchéité du joint au stuffing-box. J'ai vu des tiges rapidement corrodées par des produits acides de la combustion, lorsque les gaz sont mal épurés.

Tout ce qui précède s'applique aux grands moteurs ; il nous reste un mot à dire des pistons des moteurs ultra-légers. Nous tombons du coup dans des considérations d'un ordre tout différent, qui ne présentent pas moins d'intérêt, car la sagacité des inventeurs a trouvé ici encore ample matière à s'exercer.

Il fallait diminuer le plus possible la masse du piston, sans compromettre sa solidité. Pour les machines de voitures, on a continué de le construire en fonte; pour les machines d'aviation, on a employé l'acier, l'aluminium et les alliages. Mais ces métaux se dilatent plus que la fonte des cylindres, et l'on s'est vu obligé de leur laisser beaucoup de jeu, d'où résultaient des fuites et une marche bruyante. On a été amené, par la suite, à une méthode de construction très spéciale. Les pistons sont tournés d'abord assez juste, puis on met en marche d'essai ; on constate du grippage. Il faut alors démonter et gratter les parties qui ont chauffé ; le travail ne réussit jamais du premier coup, et on le recommence jusqu'à ce que l'on ait obtenu pleine satisfaction. On réalise par ce procédé un modèle qui servira de type pour la construction en série, et qu'il faudra copier exactement à l'aide



de la machine à reproduire. Ces manœuvres sont rendues nécessaires par les déformations du cylindre géométrique à la suite des dilatations inégales et irrégulières qu'il subit.

L'ajustement de l'axe du piston a donné lieu à des difficultés, car il faut le fixer dans son logement conique, sous peine de le voir se déplacer et rayer le cylindre. On l'assujettit par une vis, bloquée à l'aide d'une goupille de sûreté ne présentant aucun jeu.

### **Bielles et crosses.**

Nous aurons peu de choses à dire sur ces organes, qui ne diffèrent pas de ceux de la machine à vapeur.

Les pieds de bielle, articulés directement sur le piston, sont fermés, garnis de coussinets en bronze, avec coin de serrage : le graissage s'effectue par un graisseur compte-gouttes déposant l'huile dans un lécheur, terminant un tuyau aboutissant au pivot du piston.

La tête de bielle, portant sur le maneton, est nécessairement ouverte : le modèle le plus courant est celui qui porte le nom de bielle marine, ou bielle de Penn. Les boulons doivent être l'objet des plus grands soins de la part du constructeur et de la continuelle surveillance des conducteurs, car leur desserrage et leur rupture ont été la cause de nombreux et très graves accidents. Ces boulons seront pourvus de doubles écrous, avec tête à ergot, pénétrant dans une cavité ménagée dans la bielle vers l'extérieur.

Les crosses de pistons, en usage dans les grosses machines, reposent sur de larges patins et coulisent dans des glissières sur lesquelles nous n'avons aucune observation particulière à présenter.

### **Arbres et volants.**

L'arbre des moteurs à gaz est presque toujours en forme de vilebrequin : les bons constructeurs le font en acier Martin, ayant une résistance à la rupture de 45 kilogrammes au millimètre carré et un allongement d'au moins 18 à 20 % <sup>(1)</sup> ; on emploie aussi de l'acier fondu ou de l'acier au nickel. Certaines ruptures d'arbres, qui ont failli compromettre autrefois l'essor des puissants moteurs à gaz, prouvent que les mécaniciens ne sauraient attacher trop d'importance au choix du métal, au calcul des dimensions et à la bonne construction de ces organes.

M. Güldner cite <sup>(2)</sup> comme modèle de vilebrequin celui d'un moteur Kœrting

1 *Das Entwerfen*, etc., page 281.

2. D'après les traditions américaines, il vaudrait mieux faire les arbres en acier dur, donnant moins de flexion.



de 250 millimètres de diamètre d'alésage, faisant 160 révolutions par minute, dont le piston subit un effort maximum de 12.300 kilogrammes; le volant ne pèse que 1.200 kilogrammes. Voici les dimensions de cet arbre :

|  |          |
|--|----------|
| Diamètre du manchon du coudé.....                                | 120 mm.  |
| Longueur.....  | 135 —    |
| — du coudé, d'axe en axe.....                                    | 237,5 —  |
| Épaisseur.....   | 90 —     |
| Largeur.....   | 140 —    |
| Écartement des paliers, d'axe en axe.....                        | 600 —    |
| — entre coussinets.....  | 360 —    |
| Largeur des paliers.....   | 240 —    |
| Diamètre de l'arbre dans les paliers.....                        | 110 —    |
| Porte-à-faux du volant (de l'axe du palier à l'axe du moyeu).... | 330 —    |
| Le métal travaille au plus à.....                                | 10 kg. 8 |

L'expérience a permis de constater que, sous l'action motrice de la bielle et par l'effet de la charge produite par le volant, les vilebrequins subissent certaines déformations, qui justifient l'application de coefficients de sécurité très forts et nécessitent souvent l'emploi d'un troisième palier; cette pratique tend à se répandre de plus en plus.

Elle s'impose pour certains moteurs dits électriques, parce qu'ils sont spécialement construits en vue de commander des dynamos : leur vitesse est très grande et la masse des volants est considérable. Nous donnons la préférence à un volant unique (avec troisième palier), plutôt qu'à deux volants, en porte-à-faux. Quand on munit le moteur de deux volants, ils sont généralement identiques, mais un seul est utilisé pour transmettre le travail; il en résulte que le coudé subit des efforts de torsion très prononcés, au moment des mises en route, et pour toute variation importante du travail, parce que l'inertie de la jante agit en sens inverse de la résistance exercée sur la circonférence de la poulie.

Le troisième palier est nécessairement indépendant du bâti, puisqu'il en est séparé par la fosse du volant : mais il est assis sur le même massif de maçonnerie et peut en être rendu absolument solidaire. Il se fait à joints horizontaux; au contraire, les paliers du bâti sont le plus souvent à joints inclinés, afin de recevoir la poussée du tourillon dans les meilleures conditions.

C'est une bonne et sage pratique de faire perforer les arbres des puissants moteurs, pour s'assurer de la qualité du métal. La Compagnie de Nuremberg ne manque pas à cette excellente tradition de la construction. L'arbre de son moteur à simple effet est de 1 m. 32 de diamètre (course de 1 m. 40, 90 tours à la minute); il mesure 600 millimètres aux tourillons des paliers, 640 millimètres au maneton du coudé, 700 millimètres dans la partie sur laquelle est calé le volant de 76 tonnes : le maneton est percé d'un trou de 25 millimètres, et l'arbre est perforé sur toute sa longueur au diamètre de 18 millimètres. Le troisième palier est à 2 m. 90 du second palier, d'axe en axe; ces paliers ont une portée de 900 millimètres de long; l'espacement entre leurs coussinets est de 2 mètres.



On équilibre par des contrepoids l'ensemble des masses animées d'un mouvement alternatif : ces contrepoids, qu'on plaçait autrefois sur la jante du volant, sont de préférence appliqués aujourd'hui sur le coude lui-même, contre les branches de la manivelle, chaque branche portant son contrepoids. On peut les forger avec la branche ou bien y rapporter des pièces de fonte : cette dernière manière de faire est préférable à l'autre à tous égards. Les pièces de fonte sont le plus souvent à queue d'hironde, et assujetties par de simples goujons (fig. 328) ; sinon la fixation s'effectue à l'aide de boulons et de clavettes, de diverses façons,

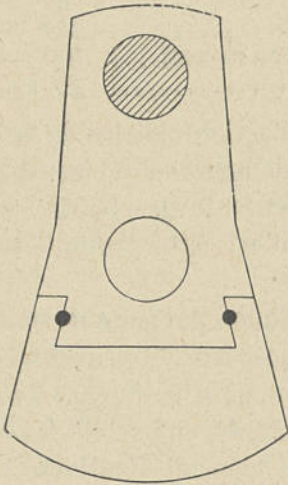


Fig. 328.  
Contrepoids à queue d'hironde.

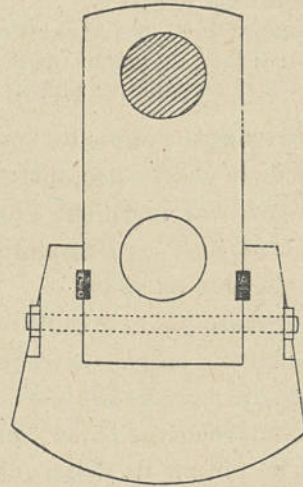


Fig. 329.  
Contrepoids à clavettes.

et notamment comme l'indique la figure 329, à l'aide d'un fort boulon transversal et de deux clavettes, qui sont calculées comme si elles devaient résister à elles seules à la force centrifuge. Cette force centrifuge se calcule aisément, en fonction du poids  $P$  de la masse excentrée, du rayon  $R$  de son centre de gravité

et de sa vitesse circonférentielle  $w$ , par la formule  $\frac{Pw^2}{gR}$ . Quant au poids  $P$ , il est

déterminé par les poids respectifs du piston et de sa tige, de la bielle, du bras du vilebrequin et de la soie ; mais on ne fait intervenir que la moitié du poids de bielle et de la partie des bras entourant la soie. Soit  $P$ , ce poids,  $r$  le rayon des bras,  $R$  le rayon déjà considéré ci-dessus du centre de gravité des contrepoids,

on prend souvent pour valeur de  $P$  le produit  $0,75 P \frac{r}{R}$ . A noter que  $P$  représente ici le poids des deux contrepoids. Il importe que leur masse agissante soit placée dans le plan dans lequel se meuvent les pièces animées d'un mouvement alternatif, ce qui exige que les deux contrepoids soient rigoureusement de même forme et de même poids.

Le calcul des contrepoids est extrêmement important pour diminuer les



efforts qui tendent à faire glisser alternativement le moteur sur son massif de fondation. Ce calcul se fait souvent empiriquement, par un procédé qui n'a d'autre avantage que d'être élémentaire : on fait la somme des poids des masses en mouvement constituées par le piston, la bielle, la soie et les bras du vilebrequin, on en prend le tiers et l'on admet que le nombre ainsi obtenu exprime le poids à donner aux contrepoids pour réaliser un équilibre parfait. Ce mode de calcul ne fournit que des résultats grossièrement approchés. M. Bourrey a donné <sup>(1)</sup> une formule rigoureuse et exacte, et pourtant d'une application facile. Appelons  $P_m$  le poids des manivelles et  $G_m$  la distance de leur centre de gravité à l'axe du vilebrequin;  $P_p$  les poids du piston et du pied de bielle, qu'on supposera concentrés sur l'axe de ce pied de bielle;  $P_t$  les poids de la tête de bielle et de la soie du vilebrequin, qu'on supposera concentrés à l'axe de la tête de bielle;  $P_c$  le poids du corps de la bielle et  $G_c$  la distance de son centre de gravité à l'axe du vilebrequin; on déterminera la position du point d'application de la résultante  $R$  des trois forces  $P_p$ ,  $P_t$  et  $P_c$  et la distance  $G$  de cette résultante à l'axe; soit enfin  $L$  la longueur de la bielle. Si l'on représente par  $\pi$  le poids total des contrepoids et par  $\gamma$  la distance de leur centre de gravité à l'axe, on peut écrire :

$$\pi \gamma = P_m G_m + R (P_p + P_t + P_c) \left(1 - \frac{G}{2L}\right).$$

Ce calcul admet que la bielle agit comme si elle avait une longueur infinie; l'erreur qui résulte de cette hypothèse inexacte est négligeable, d'après M. Bourrey.

Les dimensions des vilebrequins des puissants moteurs sont devenues considérables, et l'on a été amené à construire des arbres dont les tourillons mesureraient 500 millimètres de diamètre; le diamètre de la soie du vilebrequin est souvent égal aux  $\frac{4}{10}$  du diamètre du cylindre; c'est d'ailleurs le point de l'arbre qui éprouve le plus de fatigue, et il n'est pas rare de lui voir donner un diamètre supérieur à celui du tourillon de l'arbre.

Les tourillons doivent présenter des portées considérables, afin de faciliter le plus possible le graissage.

Le métal employé est de l'acier forgé de meilleure qualité, demi-dur, ayant une résistance à la rupture de 55 à 60 kilogrammes pour un allongement de 25 %. L'usinage de semblables masses de métal, dont le poids brut dépasse quelquefois 60 tonnes, pour être réduit à 30 après passage sur le tour, présente de réelles difficultés, et la construction des moteurs de grande puissance a exigé des métallurgistes un effort considérable; d'immenses progrès ont été réalisés et l'on parle aujourd'hui rarement de rupture d'arbres.

Delamare-Deboutteville avait conçu le dessein de renoncer à l'emploi des

1. BOURREY, « Calcul des contrepoids dans les machines alternatives », *le Génie civil*, tome LII page 360, 21 mars 1908.



coudés, qui sont chers et qui lui avaient donné des ennuis, pour employer des arbres à manivelle, comme cela se fait en machines à vapeur; mais cette modification imposait des changements de forme des bâtis qui n'ont pas toujours donné satisfaction et l'on y a renoncé; mais les mécaniciens américains y reviennent aujourd'hui, avec raison, nous l'avons déjà dit. Les mêmes constructeurs s'abstiennent souvent d'équilibrer les coudés par des contrepoids, pour la raison spécieuse que l'inertie des pièces mobiles vient en décompte des efforts exercés pendant la compression et subis au moment de l'explosion; ce raisonnement est exact pour le régime normal d'un moteur, alors que la vitesse ne subit aucune variation, mais il cesse de l'être lorsque la machine ralentit subitement par suite d'une surcharge accidentelle. La mise en route, qui est souvent accompagnée de fortes explosions, soumet aussi à une épreuve sérieuse les arbres non équilibrés : aussi la pratique de la suppression des contrepoids ne nous paraît-elle pas prudente.

Avant d'en finir avec cette question, nous croyons utile de faire connaître une observation que nous avons eu l'occasion de relever : à la suite d'échauffements de palier répétés, qui avaient obligé de le refroidir par de copieuses affusions d'eau, il s'était produit sur la surface du tourillon de l'arbre de nombreuses craquelures, extrêmement fines, qui nous avaient vivement inquiété. Le fournisseur de l'arbre, mis en cause, démontra que le phénomène était absolument superficiel; on pratiqua sur la portée de l'arbre des rainures longitudinales de lubrification, de 20 millimètres de largeur, de 2 millimètres de profondeur, et l'on constata qu'en effet les craquelures ne pénétraient pas dans la profondeur du métal. Les rainures ainsi effectuées sont d'un fréquent usage dans la construction allemande et peuvent être recommandées pour les arbres des puissants moteurs, qui chauffent quelquefois assez longtemps dans les débuts de la marche des machines, lorsque des poussières se sont introduites dans les paliers.

Les volants se font aujourd'hui presque tous en fonte, quelle que soit leur masse et leur dimension. On les coule facilement en une pièce jusqu'à 3 mètres de diamètre : mais on coupe souvent leur moyeu en deux ou en trois, pour éviter des tensions dangereuses des bras par retrait de fonderie. Les bras courbes sont toujours à conseiller; on doit éviter de munir la jante de contrepoids faisant saillie. Les plus forts volants peuvent être faits en deux pièces; mais on ne se contente pas de les assembler par boulons; on frette le moyeu et l'on relie les segments de jante par des pièces d'acier à queue d'hironde, encastrées dans la fonte et maintenues par des vis.

Les constructeurs des puissants moteurs à gaz de hauts fourneaux reviennent aux volants en pièces assemblées avec bras d'acier, qui permettent de développer aux jantes des vitesses considérables de près de 40 mètres à la seconde, qui seraient dangereuses pour les volants en fonte. Mais il faut apporter les plus grands soins à la confection des joints, qui constituent les points faibles de tous ces assemblages.



Les grandes vitesses pratiquées pour certains moteurs sont de nature à faire naître des inquiétudes sur la résistance des volants en cas d'emballement. M. Benjamin a donc cru utile de procéder à des expériences de rupture sur de petits volants; et il en a présenté les résultats à ses collègues de l'Association des Ingénieurs américains (1); nous extrayons de cette communication les renseignements qui suivent.

Tous les volants essayés avaient le même diamètre de 610 millimètres, mais on leur a donné des formes variées, en s'imposant toujours de garder une parfaite similitude avec les volants usuels de plus grande dimension : ils ont du reste été soigneusement équilibrés, en enroulant des fils de plomb autour des bras et au voisinage de la jante. On accélérerait la vitesse jusqu'à rupture.

Deux volants à jante pleine, reproduction de volants Allis de 3 mètres de diamètre, munis de 6 bras coulés d'une pièce, ont sauté à 3.700 et 3.850 tours par minute, la vitesse périphérique de jante étant de 120 mètres par seconde et le métal travaillant à 11 kilogrammes par millimètre carré. Quatre volants étaient faits en deux pièces, les joints se trouvant au quart de la distance entre deux bras, soit au point où le moment fléchissant est minimum. Ils se sont rompus par 1.800 à 1.900 tours; vitesse périphérique de 60 mètres, tension de 6 kg. 7. Trois volants avaient des assemblages ordinaires à brides, à mi-distance entre les bras; mais on pouvait les renforcer par des tirants d'acier allant du moyeu à la jante et boulonnés à leur extrémité; grâce à ce moyen de consolidation, on a pu porter la rupture à 2.100 tours environ, avec vitesse circonférentielle de 68 m. 5, et tension de 8 kilogrammes environ. Le même volant non consolidé s'était brisé à 1.570 tours, soit à une vitesse de jante de 50 mètres environ. Il résulte de cette intéressante épreuve que les volants en deux pièces, avec assemblage au milieu de l'intervalle des bras, deviennent rapidement dangereux, mais que les tirants peuvent augmenter de 40 % la vitesse d'éclatement, ce qui correspond à une augmentation de 100 % de la résistance de l'assemblage.

Les conclusions générales de ces remarquables expériences ont été en faveur des volants coulés d'une pièce, avec un grand nombre de bras; les joints dans les jantes sont une cause de faiblesse, surtout lorsqu'ils sont placés au milieu des bras. Avec les premiers, la vitesse de la jante peut atteindre 120 mètres à la seconde; les autres deviennent dangereux à 50 mètres, surtout s'ils présentent du balourd. Les assemblages entre bras et jante et le renforcement de celle-ci par des nervures internes n'ont pas d'influence notable sur la résistance. On peut dire que les joints ont tout au plus une résistance égale au tiers de celle d'une jante. Des volants à 24 bras en fil d'acier, avec jante d'une pièce, ne se sont rompus qu'à 4.050 tours par minute, avec une vitesse à la jante de 129 mètres; la tension avait atteint 12 kg. 6; il semble que cette forme soit la meilleure de toutes. Cette indication pourra être utilisée un jour.

1. *Le Génie civil*, 5 avril 1902. Les volants étaient renfermés dans une cage en bois qui empêchait la projection des fragments.



Le calage des moyeux doit être l'objet des plus grands soins de la part des constructeurs : un volant qui se décale en marche peut occasionner les plus graves accidents.

Le meilleur calage est celui de la figure 330; les deux clavettes tangentielles sont mises à 120° l'une de l'autre.

Les mécaniciens ne sont pas bien d'accord sur les dimensions à donner à ces clavettes. Citons quelques chiffres de M. Hæder :

| Diamètre de l'arbre. | $b$    | $h$    |
|----------------------|--------|--------|
| 200 mm.              | 50 mm. | 26 mm. |
| 240 —                | 60 —   | 32 —   |
| 260 —                | 65 —   | 35 —   |
| 300 —                | 75 —   | 40 —   |
| 350 —                | 85 —   | 48 —   |
| 400 —                | 95 —   | 54 —   |
| 450 —                | 100 —  | 58 —   |

Les volants ont une importance plus grande dans les moteurs à gaz que dans les machines à vapeur, parce que les variations du couple moteur y sont beaucoup plus considérables : il s'agit non seulement de conserver au moteur une vitesse moyenne constante, à toute charge et à toute variation de charge, mais il faut encore que la vitesse angulaire conserve une même valeur dans le tour; le degré d'irrégularité exprime par un coefficient cette qualité, à laquelle les diverses industries attachent une importance extrêmement diffé-

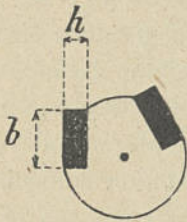


Fig. 330. — Cales de moyeu de volant.

rente. Si l'on peut se contenter de  $\frac{1}{40}$  dans un atelier de construction, dans un moulin, ou pour une commande de pompes, on exige  $\frac{1}{80}$  ou  $\frac{1}{100}$  pour actionner des génératrices d'électricité faisant de la lumière ou transportant de l'énergie; mais, si l'on doit accoupler des génératrices en parallèle, il faut  $\frac{1}{120}$ , si elles sont à courant continu et actionnées par courroies, et  $\frac{1}{200}$  si ce sont des alternateurs montés sur l'arbre moteur du cylindre. C'est encore  $\frac{1}{200}$  qu'on demande en filature de numéros fins. On a exigé  $\frac{1}{300}$  dans certaines stations d'électricité, où l'on voulait obtenir des mises en parallèle faciles et rapides.

On peut toujours obtenir le degré de régularité que l'on veut, c'est une question de diamètre et de poids de volant, donc une question de fonte et, en dernière analyse, une question d'argent, car les grands et lourds volants, développant une grande vitesse périphérique de jante, sont d'une construction difficile et



coûteuse, et ils exigent des arbres et des paliers qui reviennent eux-mêmes plus cher.

Le poids de la jante d'un volant se calcule en fonction de la puissance effective  $\bar{c}$ , du nombre de tours  $n$  par minute, du coefficient d'irrégularité  $\delta$  (1) et du diamètre  $D$  du centre de gravité de la jante, par la formule  $P = K \frac{\bar{c}}{n^3 \delta D^2}$ .

Dans cette formule,  $K$  est un paramètre qui dépend de la constitution du moteur; sa valeur peut varier du simple au sextuple. Ainsi, si l'on veut avoir  $P$  en kilogrammes pour  $D$  en mètres, on prendra  $K$  égal à 42.000 pour un moteur monocylindrique à quatre temps à simple effet, réglant par tout ou rien, à 28.000 pour un moteur à deux cylindres jumelés ou opposés et à 7.000 pour un moteur à quatre cylindres; un cylindre à double effet équivaut à deux cylindres à simple effet. Pour une machine à vapeur à un cylindre, on pourrait prendre  $K$  égal à 7.000, et, pour deux cylindres compound, on admettrait une valeur de  $K$  égale à 3.000.

Plusieurs auteurs ont dressé des tableaux donnant le poids relatif des jantes nécessaires pour réaliser, à même vitesse, un degré d'irrégularité déterminé dans les différents modes d'agencement et de constitution des cylindres. Ils sont loin d'être d'accord, ainsi qu'on pourra en juger par les nombres auxquels se sont arrêtés Humphrey et Letombe.

|   | HUMPHREY | LETOMBE |
|---|----------|---------|
| Moteur 4 temps, 1 cylindre, simple effet.....                 | 100      | 100     |
| — 4 — 2 — — opposés, calage à 180°.....                       | 63       | 60      |
| — 4 — 1 — double effet.....                                   | 63       | 60      |
| — 4 — 2 — simple effet, jumelés ou tandem sur même coudé..... | 47       | 40      |
| — 2 — 1 — — .....   | »        | 40      |
| — 4 — triple effet tandem.....                                | »        | 32      |
| — 4 — 3 cylindres, simple effet, calage à 120°.....           | »        | 24      |
| — 4 — 4 — — .....   | 16       | 8       |
| — 4 — 2 — double effet.....                                   | 16       | 8       |
| — 2 — double effet.....                                       | »        | 8       |
| — 4 — 4 cylindres, double effet en tandem et jumelés.....     | »        | 0,25    |

Une machine à vapeur monocylindrique à simple effet aurait demandé un poids relatif de 16, d'après les calculs de M. Humphrey.

M. Hæder propose (2) une autre formule du calcul du poids de la jante en fonction de la puissance indiquée et des données considérées ci-dessus :

$$P = 40000 i \frac{P_i}{n^3 \delta D^2}$$

1. Nous écrivons  $\delta = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\text{moy}}}$  : quelques auteurs mettent un 2 au dénominateur.

2. HÆDER, *les Moteurs à gaz*, traduction Varinois, tome II, page 147. Paris, Dunod et Pinat, 1909



Cet auteur donne les correspondances suivantes pour les valeurs de *i* :

|                       |                                     | VALEURS<br>de <i>i</i> |                 |     |
|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Machine à vapeur..... | 1 cylindre.....                     | 86                     |                 |     |
|                       | 2 — tandem.....                     | 80                     |                 |     |
|                       | 2 — compound.....                   | 50                     |                 |     |
|                       | Triple expansion, 2 manivelles..... | 35                     |                 |     |
| Moteurs à gaz.....    | 4 temps..                           | simple effet..         | 1 cylindre..... | 800 |
|                       |                                     |                        | 2 — .....       | 345 |
|                       |                                     | double effet..         | 4 — .....       | 44  |
|                       |                                     |                        | 1 cylindre..... | 540 |
|                       | 2 temps simple effet.....           | 2 — .....              | 67              |     |
|                       |                                     | 4 — .....              | 19              |     |
|                       |                                     | 4 — .....              | 350             |     |
|                       |                                     | 4 — .....              | 350             |     |

Le poids total d'un volant est égal à 1,3 à 1,4 fois le poids de la jante.

Nous croyons utile de donner ci-après un tableau des poids de volants adoptés pour les volants de ses divers types par la firme John Cockerill; ces chiffres sont extraits de son dernier prospectus.

| <i>Moteurs monocylindriques.</i> |                                  |            |                                  |                                  | <i>Moteurs en tandem.</i>     |                                  |            |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|----------------------------------|
| PUISSANCE<br>EN<br>chevaux       | NOMBRE<br>DE TOURS<br>par minute | RÉGULARITÉ | POIDS<br>DU MOTEUR<br>en kilogr. | POIDS<br>DU VOLANT<br>en kilogr. | PUISSANCE<br>EN<br>chevaux    | NOMBRE<br>DE TOURS<br>par minute | RÉGULARITÉ | POIDS<br>DU MOTEUR<br>en kilogr. | POIDS<br>DU VOLANT<br>en kilogr. |
| 160                              | 180                              | 73         | 26.200                           | 8.000                            | 325                           | 170                              | 261        | 37.000                           | 8.000                            |
| 220                              | 160                              | 66         | 30.400                           | 10.000                           | 440                           | 150                              | 232        | 43.000                           | 10.000                           |
| 300                              | 145                              | 58         | 37.600                           | 12.000                           | 590                           | 135                              | 201        | 53.000                           | 12.000                           |
| 400                              | 130                              | 49         | 48.900                           | 15.000                           | 780                           | 120                              | 167        | 69.000                           | 15.000                           |
| 530                              | 120                              | 49         | 70.900                           | 20.000                           | 1.025                         | 110                              | 164        | 100.000                          | 20.000                           |
| 740                              | 110                              | 43         | 93.500                           | 25.000                           | 1.400                         | 100                              | 143        | 132.000                          | 25.000                           |
| 1.000                            | 100                              | 40         | 131.000                          | 30.000                           | 1.920                         | 90                               | 130        | 187.000                          | 30.000                           |
| 1.300                            | 90                               | 40         | 178.000                          | 40.000                           | 2.480                         | 82                               | 130        | 251.000                          | 40.000                           |
| <i>Moteurs jumelés.</i>          |                                  |            |                                  |                                  | <i>Moteurs double tandem.</i> |                                  |            |                                  |                                  |
| 335                              | 180                              | 281        | 47.100                           | 8.000                            | 680                           | 170                              | 514        | 68.500                           | 8.000                            |
| 460                              | 162                              | 262        | 54.700                           | 10.000                           | 910                           | 150                              | 458        | 79.500                           | 10.000                           |
| 620                              | 145                              | 233        | 67.500                           | 12.000                           | 1.220                         | 135                              | 397        | 98.500                           | 12.000                           |
| 825                              | 130                              | 197        | 87.800                           | 15.000                           | 1.620                         | 120                              | 331        | 128.000                          | 15.000                           |
| 1.090                            | 120                              | 195        | 127.000                          | 20.000                           | 2.120                         | 110                              | 324        | 185.000                          | 20.000                           |
| 1.520                            | 110                              | 172        | 168.000                          | 25.000                           | 2.900                         | 100                              | 282        | 244.000                          | 25.000                           |
| 2.060                            | 100                              | 161        | 238.000                          | 30.000                           | 3.950                         | 90                               | 260        | 345.000                          | 30.000                           |
| 2.670                            | 90                               | 161        | 319.000                          | 40.000                           | 5.180                         | 82                               | 260        | 465.000                          | 40.000                           |

Les lourds volants sont munis d'une denture, pratiquée dans la jante, afin de permettre de leur adjoindre un vireur mécanique, généralement actionné électriquement.



III

**ORGANES DE DISTRIBUTION**

Composer un mélange tonnant homogène, dans des proportions déterminées, admettre la quantité nécessaire dans le cylindre-moteur, l'enflammer en temps opportun et enfin évacuer dans l'atmosphère les produits de la combustion, telle est la quadruple fonction dévolue aux organes de distribution dans les moteurs à gaz. Ces conditions sont beaucoup plus compliquées que celles qui résultent de l'emploi de la vapeur; mais, en outre de la multiplicité des opérations, il faut encore tenir compte de leur nature délicate et des températures élevées qu'elles produisent; la nécessité du refroidissement et d'un graissage abondant ajoute une difficulté nouvelle à la solution d'un problème déjà fort ardu par lui-même. En somme, le plus grand effort des inventeurs a dû porter sur les appareils distributeurs par lesquels s'accomplissent les quatre opérations constitutives du cycle. Les premiers constructeurs, prenant modèle sur la machine à vapeur, ont d'abord effectué par un tiroir unique la distribution et l'allumage; c'était la solution complexe; ils sont arrivés progressivement à la solution simple, en multipliant les organes et en décomposant les fonctions. Autrefois un organe unique devait suffire à tout; aujourd'hui, il y a un organe pour chaque fonction: elle est ainsi mieux remplie et plus simplement.

La réaction paraît s'être produite définitivement vers 1883, et nous serions disposés à lui donner pour date l'apparition du nouveau moteur Lenoir. Cette machine à quatre temps fut traitée de plagiat par les concessionnaires d'Otto; cette appréciation était sévère; s'il était vrai que le célèbre ingénieur avait fait de notables emprunts à l'œuvre des constructeurs allemands, il fallait reconnaître d'autre part qu'il avait le droit de se couvrir de Beau de Rochas, qu'il renonçait absolument aux fameuses tranches et au principe des combustions lentes et qu'il avait modifié complètement la distribution. Il introduisait le mélange dans le cylindre par une soupape, placée directement sous la dépendance du régulateur et il l'enflammait par une étincelle d'induction.

Les soupapes sont presque seules employées aujourd'hui dans les moteurs à gaz; il y en a une pour l'admission du gaz, une pour l'admission du mélange, quelquefois une autre pour l'allumage; une dernière enfin sert à évacuer dans l'atmosphère les gaz brûlés. Chacune d'elles est actionnée par une came, calée sur un arbre de distribution faisant un tour pour deux de la machine: c'est le dispositif vulgarisé par les frères Crossley, alors qu'ils étaient concessionnaires en Angleterre des brevets Otto. Quelquefois, mais bien rarement, la commande des soupapes vient d'un arbre parallèle à l'arbre de couche. En égalant le nombre



des cames et des soupapes au nombre des fonctions à remplir, on a singulièrement facilité le réglage de la distribution : le régulateur agit sur l'une ou l'autre fonction. On peut, en effet, suspendre l'admission, soit en laissant la soupape de décharge fermée, soit en la gardant ouverte.

La disposition relative de ces divers organes pouvant être modifiée de diverses manières, on obtient donc autant de modèles différents qu'il existe de combinaisons; il était dès lors aisé de créer des moteurs d'apparence nouvelle et de prendre des brevets : les inventeurs ne se sont pas privés de cette douce jouissance. Cela explique le nombre considérable de systèmes qui ont été essayés. Nos monographies ont fait connaître ceux qui ont eu le plus de faveur, sinon de succès : nous ne reviendrons pas sur ce qui a déjà été dit, nous bornant ici à la description des organes les plus répandus.

Considérons d'abord l'arbre de distribution à demi-vitesse : cet arbre est parallèle à l'axe du cylindre, et il est actionné de l'arbre de couche par des engrenages coniques ou hélicoïdaux. Pour les premiers, la nécessité de donner à la roue, montée sur l'arbre à demi-vitesse, un nombre de dents double occasionne un encombrement fâcheux et un aspect disgracieux : aussi accorde-t-on la préférence aux roues hélicoïdales qui peuvent être d'égal diamètre et procurent une marche plus silencieuse. On obtient un sens de rotation intérieur ou extérieur suivant l'inclinaison des dents.

Il faut estimer au moins à 10 ou 12 % de la puissance du moteur celle que l'arbre de distribution doit transmettre : les dimensions des dents se déterminent par large approximation. La roue conductrice se fait en acier, l'autre en fonte. On ne donne que le minimum de jeu à la denture. Les roues renfermées dans un carter étanche tournent dans l'huile et dans la graisse.

L'arbre de distribution est muni de cames ou d'excentriques : pour les petits moteurs, ces deux organes se valent; mais on donne la préférence aux excentriques pour les puissantes machines, bien que ces organes soient plus encombrants. Leur mouvement est beaucoup plus doux et plus silencieux que celui des cames. Quand on fait usage de leviers à roulement, on a la possibilité de multiplier les vitesses et les déplacements, et de réduire les dimensions des excentriques.

Occupons-nous maintenant des soupapes : en principe, elles sont constituées par un disque circulaire faisant fonction d'obturateur, quand il retombe sur son siège, sous la pression d'un ressort. Elles sont coniques ou plates : chacune de ces formes a ses avantages et ses inconvénients. La soupape conique est d'un ajustage plus aisé, car elle a une tendance à reprendre toujours une bonne place sur son siège, tandis que la soupape plate ne se centre pas d'elle-même; mais, à levée égale, pour un diamètre déterminé, la première ouvre un passage moins large aux gaz. Pour une soupape plate, la section libre est égale à  $\pi r^2 h$ ,  $r$  étant le rayon et  $h$  la levée; pour la soupape conique, c'est l'intervalle entre deux troncs de cône : la levée étant la même, les sections sont dans le rapport de



$\sqrt{2}$  à l'unité. Malgré cet avantage, les soupapes plates sont moins en usage que les autres.

Quand les soupapes sont automatiques, le ressort de rappel, devant s'ouvrir sous un minime effort, doit être faible, et il faut donner au clapet une masse aussi petite que possible. Le plus souvent, les soupapes sont commandées, auquel cas le ressort aura une forte tension. On peut arriver à établir des soupapes qui se ferment en moins d'un  $\frac{1}{100}$  de seconde.

La grandeur des soupapes est limitée par des difficultés de construction et de fonctionnement : on a été amené à les multiplier, même dans les moteurs légers. On a placé jusqu'à trois soupapes d'admission par cylindre.

Les soupapes se font généralement en acier forgé, quelquefois en acier fondu ; quand leurs dimensions sont grandes, on ajuste un disque de fonte sur une tige creuse d'acier forgé, ce qui se prête bien à la réfrigération par circulation d'eau intérieure. Des précautions spéciales sont à prendre contre le gauchissement des disques ; il faut, d'autre part, prévoir une remise sur le tour quand le rodage ne suffit plus pour assurer une parfaite étanchéité.

On cherche par-dessus tout à rendre les soupapes facilement accessibles : à cet effet, les boîtes qui les renferment sont fermées par des obturateurs à collets dressés, qui n'exigent plus de joints à l'amiante, au minium ou au caoutchouc, et qu'on peut enlever en un instant ; il importe autant que possible que la visite d'une soupape n'oblige pas de démonter les organes mécaniques de commande.

La surface des soupapes tournée vers l'intérieur du cylindre doit être aussi lisse que possible et ne présenter ni saillies, ni aspérités ; on les munit souvent d'un mamelon portant une rainure, permettant de les roder, en y introduisant un tournevis ; ce bossage en relief est exposé à s'échauffer et à se recouvrir de concrétions solides, qui deviennent incandescentes, et provoquent des allumages intempestifs. Cette pratique est donc mauvaise.

Le refroidissement des soupapes et de leur siège est une des caractéristiques de la construction des moteurs les plus récents : les boîtes qui les renferment sont entourées d'une large enveloppe à circulation d'eau ; cette circulation doit être réelle et rapide pour être efficace, et l'on doit éviter les chambres dans lesquelles pourrait se cantonner l'air ou la vapeur d'eau ; la visite et le nettoyage de ces enveloppes doivent être aisés, car des incrustations compromettraient la réfrigération intense que l'on veut obtenir. Dans les grands moteurs, le canon de guidage de la tige des soupapes est lui-même à circulation d'eau.

Les ressorts de rappel des soupapes doivent être extérieurs autant que possible et aisément abordables et démontables ; il est sage de les pourvoir d'un réglage de tension.

La soupape d'admission est renfermée dans une chambre qu'on appelle la boîte à soupape : il faut réduire sa capacité au minimum, pour diverses raisons.



Et d'abord, une charge explosive peut rester confinée derrière la valve et provoquer une explosion de retour : il y a donc intérêt à balayer la chambre par une chasse d'air. D'autre part, une capacité trop grande nuit à la promptitude du réglage par le régulateur, attendu que la charge qui y est retenue est soustraite à l'action de cet organe, lorsqu'il vient à changer de position entre l'accomplissement de deux cycles consécutifs.

La disposition relative des soupapes a beaucoup varié et elle a donné lieu à de longs tâtonnements. Pendant un certain temps, il fut de mode de placer la soupape d'admission horizontalement, sur le côté de la culasse, dans une boîte amovible, celle d'échappement étant verticale et dans le prolongement de l'axe du cylindre : leurs axes avaient donc des directions perpendiculaires l'une à l'autre. On construisit d'autres machines dans lesquelles les deux soupapes étaient à axe vertical, et logées dans une même chambre, toutes deux à la suite l'une de l'autre sur l'axe du cylindre. On en vint enfin à l'arrangement plus logique, qui devait prévaloir; les deux soupapes sont disposées verticalement dans la culasse, l'une au-dessus de l'autre, sur un même axe; la soupape d'admission est en haut, celle d'échappement en bas. Elles sont directement abordables, et facilement démontables, en les retirant par le haut. Un canal de purge d'huile est percé à la partie basse de la culasse. On commande les soupapes par-dessus et par-dessous.

Le développement de la puissance des machines et la pratique des admissions variables, substituées au tout ou rien, ont conduit les ingénieurs à l'emploi d'une soupape auxiliaire; les soupapes d'admission composent le mélange variable ou non; cette soupape, dite de mélange, l'admet en quantité constante ou variable.

Nous sommes conduits à étudier maintenant l'installation des soupapes dans les grandes machines à gaz de hauts fourneaux, dans lesquelles les soupapes d'admission sont généralement situées à la partie supérieure du cylindre et les soupapes d'échappement à la partie inférieure; toutefois la Société Cockerill avait cru, à un moment donné de ses études, plus avantageux de placer les deux soupapes sous le cylindre, alors que la maison Krupp les disposait toutes deux au-dessus; les ingénieurs des ateliers Kœrting et Westinghouse, et plus tard ceux de la participation Société Alsacienne-Cail-Creusot, essayaient au contraire de les rejeter sur le côté du cylindre; les Américains ont adopté souvent cette manière de faire. Ces diverses dispositions peuvent assurément toutes se défendre, car elles présentent certains avantages, mais elles prêtent aussi le flanc à la critique; les deux soupapes Cockerill logées sous le cylindre, dans les fondations, n'étaient pas aisément abordables, et le massif des maçonneries se trouvait affaibli par la volumineuse coupure qu'il fallait y pratiquer; les soupapes d'échappement, mises au haut des cylindres, n'évacuent plus aussi bien les produits de condensation et les huiles qui tendent à s'y accumuler; on peut en dire autant de l'installation latérale des boîtes à soupapes, qui les écarte du



reste beaucoup de l'axe du cylindre, et augmente considérablement le volume des espaces morts. Avec les hautes compressions adoptées aujourd'hui, c'est un inconvénient sérieux, car on est alors amené par voie de conséquence à faire venir à fin de course le piston très près du fond du cylindre; la chambre de combustion prend ainsi une forme très compliquée, étant constituée d'une part par la faible capacité restée libre derrière le piston, d'autre part par les canaux qui relient le cylindre aux boîtes à soupapes et par ces boîtes mêmes; la combustion risque de s'effectuer dans de mauvaises conditions, en présence de parois très étendues et fortement refroidies, et dans une chambre de forme allongée et complexe. On a été amené ainsi à pratiquer un double allumage simultané, l'un dans le cylindre, l'autre en dessous de la soupape d'admission : c'est une complication.

On pourrait discuter longuement ces divers arguments : nous retiendrons seulement le fait que, si la majorité des constructeurs a conservé la tradition des soupapes d'admission placées sur le cylindre et des soupapes de décharge logées en dessous, c'est parce que cette disposition paraît en somme la plus avantageuse.

Nous venons de dire qu'à la soupape d'admission, on en adjoint une seconde, qui ferme le cylindre durant les deuxième, troisième et quatrième temps, et n'a d'autre fonction que d'admettre le mélange tout formé au premier temps. C'est une soupape autoclave (fig. 331) s'ouvrant dans l'intérieur du cylindre, qui s'applique donc sur son siège sous l'action de la compression et de la pression explosive; elle est du reste rappelée par un ressort qui tend toujours à la ramener sur son siège. Ce ressort doit avoir une puissance suffisante pour lutter contre l'inertie des pièces à mouvoir et produire l'accélération nécessaire pour une fermeture rapide; il doit suffire d'autre part pour maintenir la soupape sur son siège et assurer son étanchéité, alors même qu'un vide relatif se serait formé dans le cylindre.

On commande ces diverses soupapes par cames ou par excentriques, à l'aide de leviers divers, ou bien par des appareils à déclic, que nous décrirons plus loin : il importe toujours que les attaques soient progressives et douces, pour éviter les chocs. D'autre part, un dashpot doit atténuer la retombée de la soupape sur

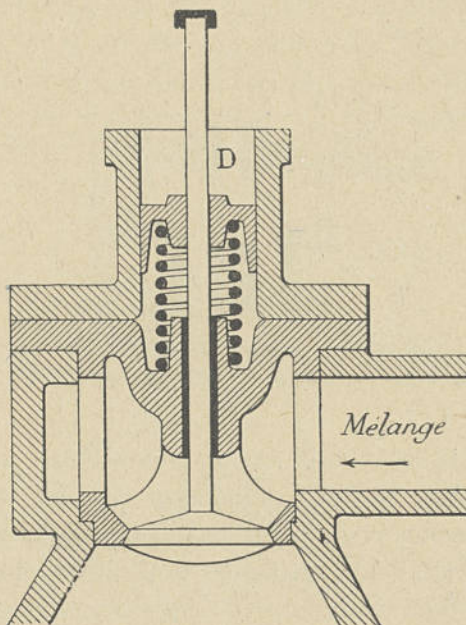


Fig. 331. — Soupape d'admission de mélange.



son siège, surtout lorsqu'un déclic produit une chute libre, car il importe d'empêcher les martelages, qui materaient rapidement les sièges et les déformeraient. On refroidit rarement les tiges et les soupapes d'admission par une circulation d'eau.

La levée de ces soupapes est toujours la même, dans les moteurs à admission et compression constante, la composition du mélange variant seule pour maintenir le régime de vitesse. Dans ces conditions de fonctionnement, le remplissage du cylindre s'effectue de même à chaque coup, quelle que soit la charge, et il ne se produit pas de dépression; les ressorts n'ont pas besoin d'être aussi puis-

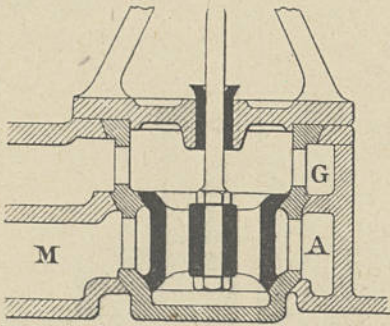


Fig. 332. — Soupape de mélange équilibrée.

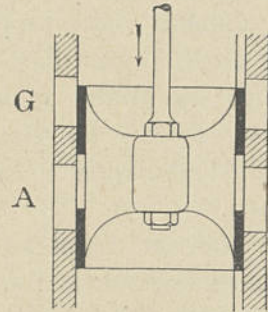


Fig. 333. — Lanterne.

sants et surtout aucun verrouillage n'est nécessaire. Au contraire, lorsque le réglage se fait à admission variable et teneur constante du mélange, la compression peut varier beaucoup, et dans ce cas il faut d'énergiques tensions de ressort, voire même des dispositifs mécaniques spéciaux, pour que le vide relatif produit sur la fin de l'admission ne fasse pas lever la soupape d'elle-même ou ne lui permette un mouvement vibratoire, qui compromettrait l'étanchéité.

Plusieurs constructeurs donnaient à la soupape de mélange la forme classique d'une soupape équilibrée à double siège; qui permettait aisément de faire varier la teneur du mélange sous la dépendance du régulateur (fig. 332); l'air était admis librement par A, le gaz ne passant par G que lorsque la soupape se levait. Comme on cherchait à introduire d'abord de l'air, et qu'il fallait que le mélange fût admis jusqu'à la fin de la course du piston, on ouvrait le passage au gaz combustible avec un retard variable, déterminé par la position du régulateur et par la charge du moteur, et l'on ne faisait retomber la soupape sur son siège que lorsque la soupape d'admission était déjà fermée : on s'assurait de la sorte contre les ratés d'allumage des mélanges pauvres.

On obtient aussi une bonne soupape de mélange en lui donnant la forme d'un tiroir cylindrique à lanterne (fig. 333), sorte de piston-valve qui découvre les orifices d'amenée d'air et de gaz, et brasse suffisamment bien les veines du comburant et du combustible pour assurer une parfaite diffusion de l'un dans l'autre. Un ressort tend à faire monter la valve et à obturer les voies de passage



des gaz; un levier poussant de haut en bas détermine leur ouverture, en faisant passer de l'air avant d'admettre du gaz, ainsi que nous l'avons déjà vu dans le premier dispositif décrit.

Les deux soupapes d'admission et de mélange peuvent être montées sur deux tiges concentriques, indépendantes l'une de l'autre : cette disposition donne au cylindre un aspect plus simple, et moins encombré, sans que néanmoins la construction soit facilitée. Le piston-valve de mélange est alors disposé au-dessus de la soupape d'admission, et sa tige entoure l'autre (fig. 334); un levier commande d'une part la tige extérieure, généralement sous la dépendance

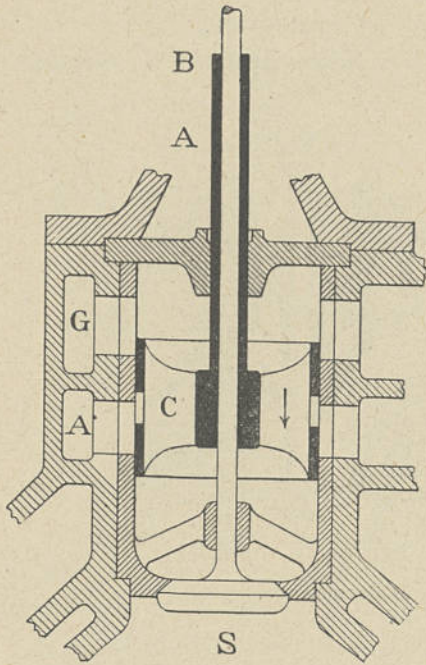


Fig. 334.

Soupape d'admission à lanterne.

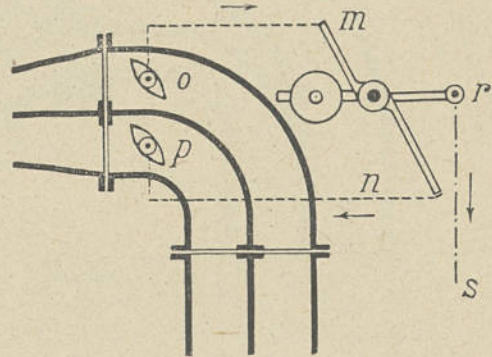


Fig. 335. — Réglage par papillons.

du régulateur; un autre appareil actionne par-dessus la tige centrale. Les deux ont leur dashpot; ceux-ci sont eux-mêmes placés concentriquement l'un à l'autre, et cela constitue en somme un ensemble assez complexe, mais très ramassé.

L'air et le gaz combustible sont amenés souvent à la soupape d'admission par deux conduits parallèles, mais séparés (fig. 335), dans lesquels des papillons opèrent une obturation partielle, permettant de régler la teneur du mélange suivant la qualité du gaz combustible ou suivant le besoin du moteur : on les commande par un balancier unique *mn*, et par deux tringles horizontales *mo* et *np*, dont on peut faire varier la longueur. La tige verticale *rs* permet de manœuvrer simultanément les deux papillons : on peut effectuer cette manœuvre à la main ou bien en faire l'office d'un régulateur.

Ce qui importe par-dessus tout pour le bon fonctionnement d'un moteur et pour son rendement, c'est de fabriquer un mélange qui soit non seulement bien



proportionné dans ses éléments, mais encore dont les composants soient parfaitement brassés ensemble et diffusés l'un dans l'autre : cette question est capitale, nous ne saurions trop le redire; le constructeur doit s'en préoccuper vivement et cette considération donne à la soupape de mélange et d'admission une importance énorme, qu'on ne saurait trop faire ressortir. J'ai vu améliorer grandement la marche de puissants moteurs en modifiant la forme et les dimensions des lanternes des pistons-valves de mélange, et en assurant une formation d'un mélange plus homogène du gaz combustible et comburant.

La figure 336 montre la disposition respective d'une soupape de mélange,

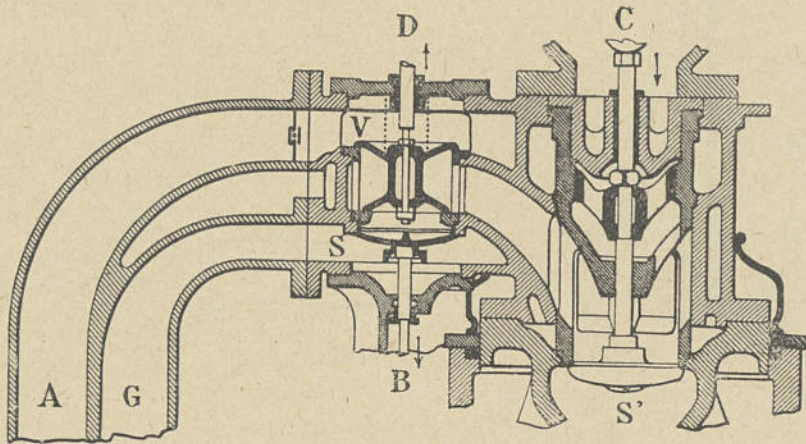


Fig. 336. — Soupapes d'admission et de mélange.

de la soupape d'admission et de la valve à gaz. Cette dernière, qui se voit en S, est manœuvrée à la main, par un volant, que notre dessin ne figure pas. La soupape de mélange est creuse et à double siège; elle reçoit air et gaz par les tuyaux parallèles A et G. Il y a donc un double passage ouvert par la levée de cette soupape, sous la dépendance du régulateur, dont les organes de régulation ne sont pas représentés; ils consistent dans un galet roulant, dont le déplacement modifie la longueur relative des bras de levier. La soupape d'admission S' est à levée constante. Ce dispositif est un de ceux que la *Gasmotorenfabrik Deutz* a appliqués le plus fréquemment à ses puissants moteurs. Le galet de roulement a été utilisé de façons très diverses par les constructeurs, mais le principe du dispositif est toujours le même; il n'y a que de légères modifications de forme d'une marque à l'autre. Un levier AB (fig. 337), mobile autour de A, repose sur la tête de la tige de la soupape, qu'une poussée verticale de haut en bas fera ouvrir : cette poussée est effectuée par le bras CDF, articulé sur l'axe D, actionné par la tringle EC. Entre AB et CDF, roule le galet G, attaché à la bielle JG, mise en mouvement par le régulateur R. Plus le galet se rapproche de A, plus grand est le bras de levier DG par rapport à CD et plus se lève la soupape.



L'effort demandé au régulateur est faible et son équilibre n'est troublé par aucune réaction importante.

Les constructeurs ont emprunté souvent à la machine à vapeur le déclin d'admission.

Les déclics ont le grand avantage de réduire le rôle du régulateur à provoquer le commencement ou la fin de l'admission, sans lui demander aucun effort de nature à troubler son fonctionnement. Le rôle actif appartient à la tringle  $l$ ,

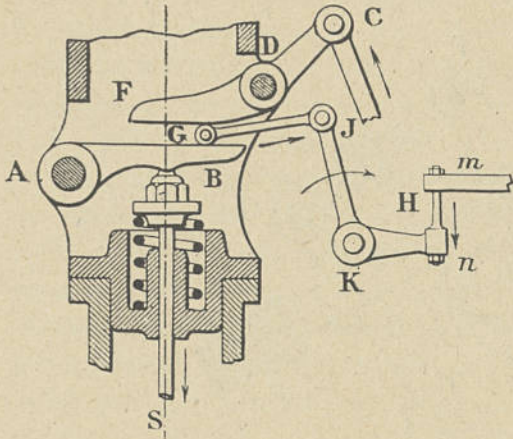


Fig. 337. — Galet de roulement.

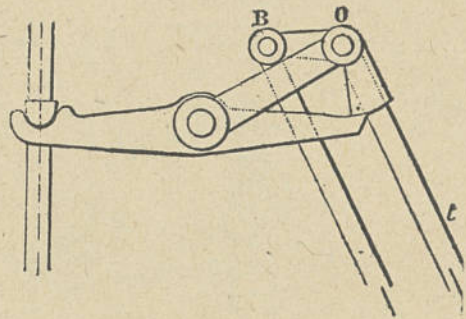


Fig. 338. — Schéma de déclin.

qui agit sur l'extrémité O d'un balancier; le régulateur n'a d'autre fonction que de déplacer un doigt, et sa tringle  $l'$  articulée en B produit cet effet (fig. 338).

L'esprit inventif des dessinateurs s'est donné carrière dans la disposition des déclics : ces dispositions ne sont pas toujours heureuses et nous ne nous attarderons pas à en décrire les innombrables modèles.

Il suffit de faire comprendre l'idée générale de ces modes de régulation,

La figure 339 montre un dispositif à déclin, qui se comprend à simple vue du dessin; le mouvement de va-et-vient, donné par un excentrique, est transmis par la tige EA au balancier CE, par l'intermédiaire de la pédale FAB, qui vient presser sur le butoir C, pendant un temps plus ou moins long dépendant de la position de AB. Celle-ci est déterminée par le régulateur, qui agit par R sur le levier GH, puis sur FAB par la bielle FG. La tige EL porte la soupape d'admission du mélange; elle est guidée à la partie inférieure par un piston, glissant dans un cylindre, et elle porte dans sa partie supérieure un second guidage, renfermant le ressort de rappel, logé dans le dôme M. Nous venons de décrire un des dispositifs de la machine Reinhardt, construite par MM. Schüchtermann et Kremer.

Le dispositif de la figure 340 est emprunté à la machine à quatre temps de MM. Pokorny et Wittekind : il dérive de la même idée que le précédent.

Le mouvement est donné par la tringle d'excentrique GD et transmis au balancier CBA par le doigt DE, déplacé par la tringle R du régulateur. La levée



de la valve est limitée par la durée du contact des arêtes C et E; ici encore le régulateur n'exerce aucun effort. Ce déclié opère un réglage qualitatif en agissant sur une lanterne de mélange, visible sur le dessin de la figure 340.

La section de passage à donner au mélange se calcule en fonction de la vitesse linéaire du piston : on compte sur une vitesse de déplacement du mélange

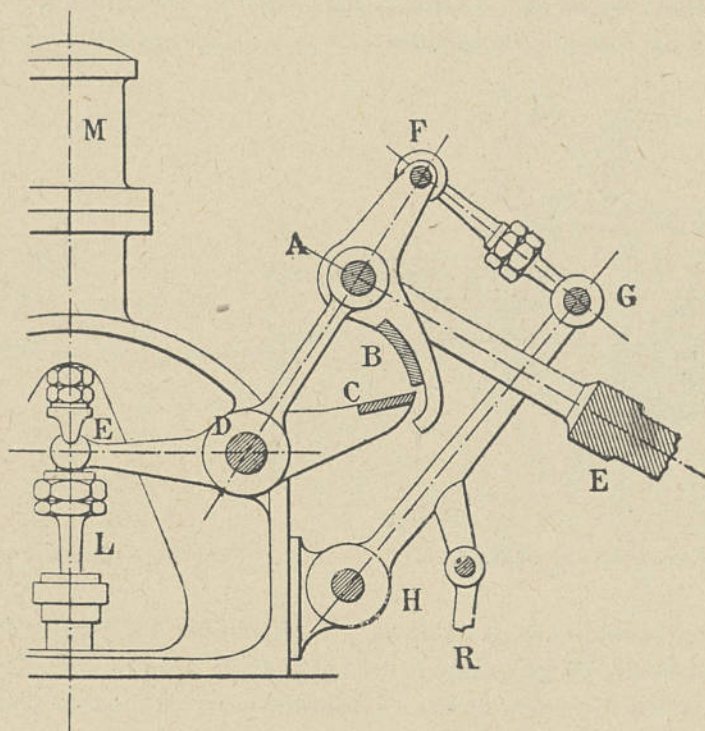


Fig. 339. — Déclié d'admission.

de 35 mètres. Cette section est déterminée par la périphérie de la soupape et par sa levée; celle-ci est variable, mais ne dépasse guère le cinquième du diamètre. Il y aurait inconvénient à la faire plus grande, car la retombée sur le siège deviendrait trop vive.

Pour ce qui est des soupapes d'admission du gaz, leur section dépend de la richesse du gaz; on compte sur un volume de gaz égal à celui de l'air pour le gaz de hauts fourneaux, sur  $\frac{5}{7}$  pour le gaz de gazogène et  $\frac{1}{7}$  pour un bon gaz de four à coke, quand il y a une avancé à l'admission; c'est le motif pour lequel on effectue un balayage d'air, en fermant anticipativement la valve à gaz avant la fin de l'aspiration. Dans les moteurs à gaz de haut fourneau et de four à coke, les boîtes sont exposées à être encombrées par des poussières ou des dépôts de goudrons; il importe donc de les rendre aussi accessibles que possible et de prévoir de fréquents nettoyages, qu'il faut faciliter; à cet égard, la combinaison de la sou-



pape à gaz avec celle de mélange n'est pas sans présenter certains inconvénients.

Les conduites d'aspiration du gaz sont placées généralement en sous-sol; elles comportent au droit des cylindres un réservoir, sur lequel sont branchés les tuyaux allant à la boîte des soupapes. On met une valve d'arrêt par cylindre. Les canalisations d'amenée du gaz doivent être suffisantes pour qu'il ne s'y produise pas de dépression sous l'appel du piston : on doit pouvoir les nettoyer facilement, surtout au voisinage des coudes qu'elles présentent, et l'on y ménage des regards à cet effet.

La pratique qui tend à se répandre en Allemagne (et qui est très rationnelle), de refroidir le mélange tonnant avant son introduction dans le cylindre, se réalise de différentes façons. Le plus généralement, le réfrigérant est constitué par des appareils tubulaires à circulation d'eau très active : on les fait en cuivre mince étamé, de manière à favoriser le plus possible les échanges. Il importe qu'ils n'entravent pas le passage des gaz et ne créent pas de résistance sensible sur leur chemin; d'autre part, on doit se réserver des facilités de visite. A cet effet, on

renferme l'appareil dans une partie élargie de la canalisation, qu'on munit de portes, d'un accès aisé. Il est avantageux d'installer des réfrigérants séparés sur la conduite d'amenée du gaz et sur celle d'introduction d'air. Pour le moteur Koerting à quatre temps, on les loge dans les fondations; dans les moteurs à deux temps de la même maison, ils sont renfermés dans le tuyau cloisonné vertical d'adduction de gaz et d'air, et ils sont pour ainsi dire invisibles. A Hörde, où l'application du procédé est faite sur un moteur Von Oechelhaeuser, l'appareil est installé sur la conduite qui relie la pompe de compression au cylindre à deux pistons; l'air de balayage (*Spülluft*) n'est point refroidi. Il importe, pour obtenir des résultats appréciables, de maintenir la température du mélange au voisinage de la température ambiante. La prise d'air se fait dans les sous-sols du moteur, et mieux encore à l'air libre, par une canalisation en maçonnerie : ce dispositif est préférable au premier, pour plusieurs raisons. Et d'abord, l'air confiné des caves accède moins librement et il provoque un appel qui peut déterminer une dépression sensible et soulever des poussières; il est quelquefois

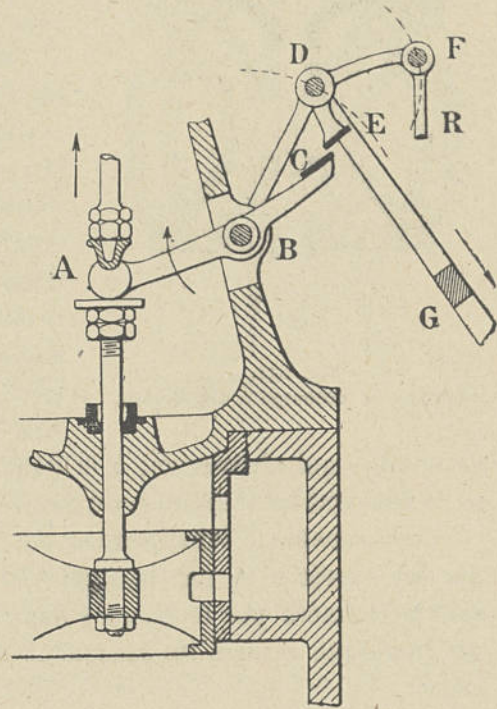


Fig. 340. — Déclie Pokorny et Wittekind.



très humide et chaud, toutes choses qui peuvent nuire à une bonne marche du moteur; d'autre part, en période d'arrêt, il suffit d'une fuite à une soupape de gaz pour empoisonner les espaces clos du sous-sol et créer des dangers d'asphyxie, sinon d'explosion. Mieux vaut donc chercher l'air à l'atmosphère libre du dehors; l'installation n'est guère plus coûteuse.

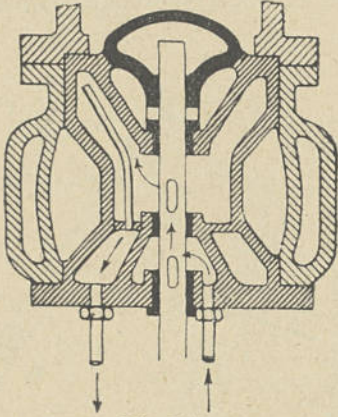


Fig. 341.  
Soupape de décharge à circulation.

Mais il faut prendre quelques précautions dans le choix de l'emplacement de la prise et éviter d'aspirer dans le cylindre un air chargé de poussières : il se peut en effet que l'air entraîne plus de particules solides que le gaz combustible, qu'on prend tant de peine à débarrasser de toute impureté. J'ai vu une installation considérable dans laquelle le voisinage d'un tas de charbon, sur lequel on déchargeait mécaniquement des wagonnets de fines, produisait une aspiration de poussières

de houille, qui obstruaient à la longue plus fort les soupapes de mélange que ne le faisaient les impuretés du gaz de gazogène.

Les soupapes d'échappement ont généralement une forme analogue à celle qui est représentée par la figure 341; elles sont actionnées par le bas, de bas en haut, un énergique ressort les ramenant sur leur siège.

Le refroidissement des soupapes de décharge et de la boîte qui les renferme s'impose et l'on refroidit même souvent le tuyau qui reçoit les gaz brûlés, dans la partie la plus voisine du cylindre : c'est qu'en effet la température s'élèverait assez en ces points pour porter le métal au rouge.

L'eau est amenée le plus souvent par un tube flexible dans la tige; elle suit d'abord un tube central renfermé dans cette tige, s'élève vers la soupape, qu'elle remplit, et redescend par la partie annulaire, pour s'écouler par le bas dans un réservoir disposé pour la recueillir. Les passages doivent être largement calculés pour prévenir toute obstruction par les calcaires que déposent fatalement à la longue les eaux de réfrigération les mieux épurées.

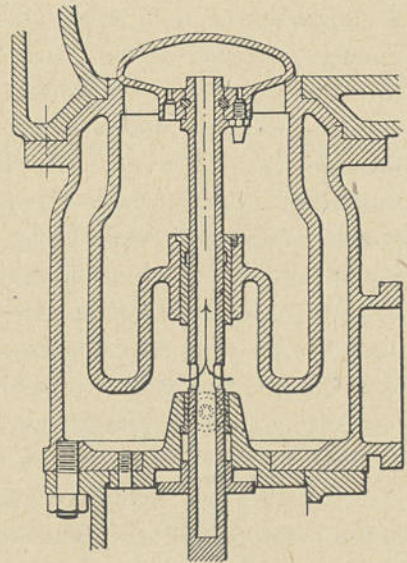


Fig. 342.  
Soupape d'échappement réfrigérée.



Dans la figure 342, la circulation de l'eau s'effectue différemment : elle monte dans la soupape par sa tige creuse, mais s'échappe ensuite dans la boîte d'échappement par des orifices percés dans le dessous de la soupape et se vaporise dans le torrent des gaz de l'échappement. On n'a donc pas à se préoccuper du départ de l'eau ; son arrivée est également simplifiée, puisqu'elle passe directement de l'enveloppe de la boîte d'échappement à la tige creuse, qui est percée de deux trous dans la partie libre. Cette manière de réfrigération est celle qui a été adoptée avec succès dans les puissantes machines construites par la participation Creusot, Cail, Alsacienne.

Dans les moteurs de Nuremberg, l'eau renfermée dans une chambre A passe de même dans la tige de la soupape, en vertu de sa pression, irrigue cette soupape et ressort par la partie annulaire dans la chambre B, qui l'évacue au dehors. On supprime donc encore les flexibles, qui sont trop souvent une cause d'ennuis.

La commande des soupapes de décharge s'opère par cames ou par excentriques ; on recourt souvent à l'emploi de leviers roulants du genre de ceux de la figure 343. Cette disposition a pour effet de diminuer l'effort supporté par l'organe d'attaque au moment de la levée de la soupape, et d'opérer ensuite une ouverture rapide du passage offert à l'échappement des gaz brûlés.

Dans les distributions à compression variable et à teneur constante du mélange, il se produit, lors des faibles admissions correspondantes à une charge réduite, ainsi que nous l'avons déjà dit, une dépression notable qui impose un verrouillage de la soupape d'échappement, sinon elle se soulèverait malgré le ressort qui l'applique sur son siège. Des dispositifs variés et très ingénieux ont été adoptés pour empêcher tout mouvement de la soupape durant l'admission : celui de la figure 188 est particulièrement efficace et il peut être donné pour exemple : il a été imaginé par la Société de Constructions mécaniques de Denain (Anciens établissements Cail).

On se rend aisément compte de la nécessité d'appareils de ce genre. En effet, quand le moteur fonctionne à très faible charge, il peut se produire dans le cylindre un vide d'une demi-atmosphère : or, considérons une soupape de 400 millimètres de diamètre, ayant une surface de près de 1.250 centimètres carrés ; elle subit un appel de 625 kilogrammes au moins, qui exigerait de la part du ressort une réaction énorme pour qu'elle ne quitte pas son siège. A la perte de travail résultant du vide s'ajouterait donc une action supplémentaire,

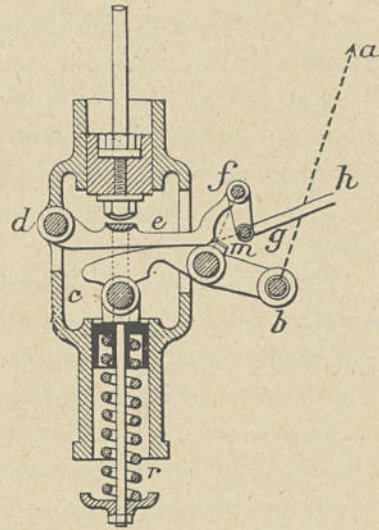


Fig. 343. — Commande de décharge.



qui se marquerait sur le rendement. Un verrouillage momentané s'impose nécessairement.

Un seul excentrique peut suffire pour effectuer la commande de l'admission et de l'échappement, et il en résulte une simplification heureuse ; elle a séduit plusieurs constructeurs, qui en ont emprunté l'idée à la machine à vapeur à soupapes ou bien à pistons-valves. Mais alors on est obligé de disposer du côté de l'excentrique une came auxiliaire, pour faire la décompression de mise en route et maintenir la soupape levée pendant les virages au volant.

Les conduites d'échappement sont souvent refroidies elles-mêmes par une circulation d'eau, qu'on ne prolonge pas du reste sur une grande longueur, car ce serait inutile. Ces conduites aboutissent, pour les moteurs à double effet, avec deux cylindres en tandem, à un collecteur logé dans le massif des fondations : il est prudent de faire la jonction par un joint élastique ou même par un presse-étoupe, pour ménager une libre dilatation et empêcher les ruptures qui pourraient se produire.

Dans toutes les dispositions qui précèdent, la réfrigération de l'échappement paraissait être le principal souci des constructeurs : la consommation d'eau devenait dès lors considérable. Or, l'eau est quelquefois une marchandise rare, qu'on ne peut prodiguer ; on a donc été amené à chercher à réduire sa dépense. Il a paru à quelques constructeurs qu'on pouvait s'abstenir de réfrigérer l'intérieur des soupapes de décharge, et qu'il suffisait de refroidir très énergiquement son siège et son guidage : on nous dit que ces essais ont été heureux ; il y a lieu de s'en féliciter, car cette circulation d'eau dans les valves ne laissait pas que de compliquer beaucoup la construction et de donner lieu dans la pratique à bien des ennuis.

Les soupapes d'échappement ont d'ordinaire le même diamètre que celles d'admission du mélange. On compte que les gaz brûlés peuvent prendre une vitesse de 15 mètres à la seconde, sans créer de contre-pression nuisible ; mais il ne faut pas oublier que leur température élevée augmente considérablement leur volume.

Les conduites d'échappement présentent une section qui n'est pas éloignée du double de la section ouverte aux gaz par la levée de la soupape ; la détente qui s'y effectue contribue à leur refroidissement rapide. On les fait aboutir à une enceinte close, dite pot d'échappement, dans laquelle on injecte souvent de l'eau pour abaisser leur température ; un siphon évacuera l'eau en excès vers une rigole creusée dans le sol.

Il importe d'amortir le choc des produits de la décharge sur l'air extérieur, si l'on veut éviter le bruit assourdissant qui en résulterait. A cet effet, on amoncelle des pierres dans le pot d'échappement, ou bien on fait passer les gaz à travers des grilles, avant de les laisser monter à la cheminée, qui doit les évacuer à une certaine hauteur. Il faut toujours prévoir le cas d'une explosion, qui se produirait à la suite d'une accumulation de gaz tonnants consécutive de quelques ratés



d'allumage, et laisser une communication assez libre avec l'atmosphère, pour éviter tout accident.

En Allemagne, on a eu l'idée de diriger la décharge dans un récipient vertical, formant cloche renversée sur une cuve à eau ; le jet gazeux épuise son énergie sur la couche liquide, qu'il déprime dans la cuve, avant de gagner la cheminée surmontant le récipient ; la garde d'eau fait joint hydraulique, qui céderait en cas d'explosion.

Il nous reste à parler de la manière dont s'effectue la commande des soupapes dans les moteurs d'autos et d'avions.

La distribution s'y fait par l'intermédiaire de cames, montées sur un arbre à demi-vitesse, généralement installé à la base du cylindre, de la manière que représente la figure 344.

Le tracé des cames doit satisfaire aux conditions que l'on s'impose pour la hauteur de levée et la durée de levée des soupapes.

Des tiges d'acier, appelées poussoirs, sont terminées à leur partie inférieure par un galet, ou un sabot, qui roule ou frotte sur la came ; des culbuteurs sont articulés sur leur extrémité supérieure et ils appuient sur la queue des soupapes, qui émerge verticalement, ou sous un angle de 45 degrés de la culasse. L'action s'exerce sur la soupape de haut en bas. Le dessin de la figure suffit pour qu'on se rende compte de l'agencement de ces divers organes.

Il est indispensable de ménager du jeu entre les poussoirs et les queues des soupapes. En effet, la soupape et sa tige se dilatent en marche : si le culbuteur appuyait déjà sur la tige à froid, la valve ne pourrait plus retomber sur son siège à chaud. D'autre part, la soupape est maintenue fermée par la tension du ressort qui la surmonte et par la pression développée dans le cylindre ; il faut développer un certain effort pour la décoller instantanément. Pour cela, il est indiqué de procéder par choc. Une percussion vive agira bien plus efficacement qu'une poussée lente et graduelle. On la réalisera en disposant les choses de manière à ce que le culbuteur ait déjà pris une certaine vitesse avant de peser sur la tige. Il faut donc du jeu ; mais un demi-millimètre est suffisant : donner davantage aurait pour conséquence de faire du bruit et de produire du retard. Le jeu doit par suite être réglable.

Quelques constructeurs emploient une seule came pour commander plusieurs soupapes : c'est une économie d'organes qui ne se justifie pas, attendu que les conditions sont rarement les mêmes pour des soupapes remplissant des fonctions difficiles. Mais, dans les moteurs en V, on peut employer une seule came pour les soupapes de même espèce de deux cylindres voisins.

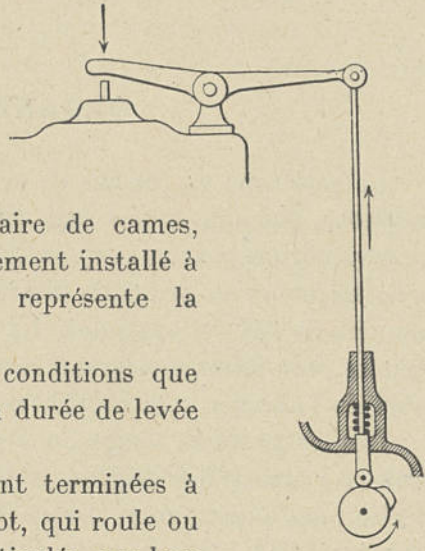


Fig. 344. — Com-  
mande par culbuteur.



Les poussoirs doivent être soigneusement guidés par un long canon, auquel il faut laisser du jeu ; on l'utilise d'autre part pour munir la tige d'un ressort de rappel énergique.

#### IV

### ORGANES DE RÉGLAGE

Le problème du réglage de la vitesse des moteurs comporte de nombreuses solutions, que nous avons déjà envisagées dans les pages qui précèdent et nous ne reviendrons pas sur ce qui a été dit ; toutefois, nous croyons utile de résumer brièvement ici les principes directeurs de la régulation et de montrer de quelle manière ils ont été appliqués. La description des organes, que nous aborderons ensuite, sera éclairée et grandement facilitée par cet exposé, et il nous sera possible de l'abrèger considérablement.

Dès les premiers temps de la construction des moteurs à gaz, on chercha à réaliser l'égalité des couples moteurs et des couples résistants par une modification des diagrammes, et l'on fit varier à cet effet la quantité de gaz combustible introduite dans le cycle. Otto débuta donc par faire ce que nous appelons aujourd'hui un réglage qualitatif. En apparence, c'était le procédé le plus simple à employer : mais on avait compté sans les longs feux et les ratés d'allumage, qui devaient résulter d'un appauvrissement éventuel du mélange. Les artifices, auxquels on eut recours (cartouche d'allumage, constitution de mélanges riches en des points choisis, etc.) permirent d'obtenir une marche régulière et une grande douceur de fonctionnement, résultats que l'on recherchait avant tout, mais le rendement restait médiocre et il se traduisait par une consommation excessive. Il y avait deux moyens de corriger ce défaut, soit en comprimant plus énergiquement le mélange, soit en ne le faisant plus aussi pauvre, de manière à supprimer ces ratés d'où venait tout le mal. C'est au second procédé qu'on recourut d'abord, en imaginant le réglage par tout ou rien. Le remède était radical : on admet du gaz pour faire un mélange riche, ou bien on n'en admet plus du tout. Du coup, la consommation diminua beaucoup. Plus tard, les Crossley, concessionnaires anglais d'Otto, réussirent à augmenter la compression préalable en sacrifiant le tiroir, et en employant les soupapes. On put ainsi réaliser une vitesse assez constante, par l'emploi de lourds volants, en même temps qu'on améliorait sensiblement le rendement. On se tint durant de longues années à cette première solution, qui était du reste satisfaisante à de nombreux égards.

Il y avait plusieurs manières d'appliquer la méthode du tout ou rien.

1<sup>o</sup> La came, qui commande l'ouverture de la soupape d'admission du gaz, cesse de remplir cet office, par l'intervention d'un organe soumis au régulateur ;



2° La soupape d'admission du gaz étant automatique, et s'ouvrant spontanément sous l'appel du piston, le régulateur maintient levée la soupape de décharge ; aussitôt la soupape d'admission cesse de fonctionner, et le cylindre ne reçoit plus de gaz ;

3° Dans les mêmes conditions que ci-dessus, la soupape d'échappement ne se lève plus, ce qui a aussi pour effet de supprimer l'admission du gaz.

Dans le premier cas, au moment des passages à vide, le cylindre est traversé par des charges d'air froid, qui refroidissent la paroi interne, d'où résulte une perte, alors même que l'air dilaté fournit un certain travail. Le second procédé fait rentrer dans le cylindre les gaz qui sont souillés de poussière et nuisent à sa conservation et à la marche subséquente de la machine. Le dernier mode présente le même inconvénient que le premier, sans faire récupérer de travail.

Quel est en somme le moyen le plus recommandable ? J'opinerais pour le premier, mais ne saurais justifier cette préférence par aucun argument décisif.

Quel est le plus facile à appliquer ? Ils le sont également. En effet, au réglage par *tout ou rien* correspond un système très simple d'admission, que nous appellerons par *touche ou manque*, qui consiste à interposer, entre la tige de la soupape et le levier qui doit l'actionner, une lame taillée en biseau à une extrémité, de manière à pénétrer dans un cran ménagé à cet effet. Au régulateur est dévolue la tâche de présenter cette lame ou de la faire se dérober : il y a passage à vide, quand elle se dérober.

Le régulateur à force centrifuge de Watt se prête bien à cette application, de la manière simple, que représente le schéma de la figure 345.

La soupape à commander S est actionnée par le butoir P, lorsque celui-ci rencontre la butée Q, laquelle est déplacée par le renvoi de mouvement du régulateur R. On peut dire que le régulateur n'a d'autre fonction que de déplacer un levier, mobile autour d'une articulation : ce levier est mû, d'autre part, par le mécanisme de distribution, dans un plan horizontal ou vertical ; il agit par butée sur l'extrémité de la tige de la soupape, laquelle est rappelée par un ressort. Or, cette butée n'a lieu que pour une position déterminée du levier et elle échappe aussitôt que ce levier se soulève ; l'admission est donc suspendue du même coup. Le régulateur n'a qu'un effort très faible à exercer sur le levier pour le déplacer : il en résulte une sensibilité extrême.

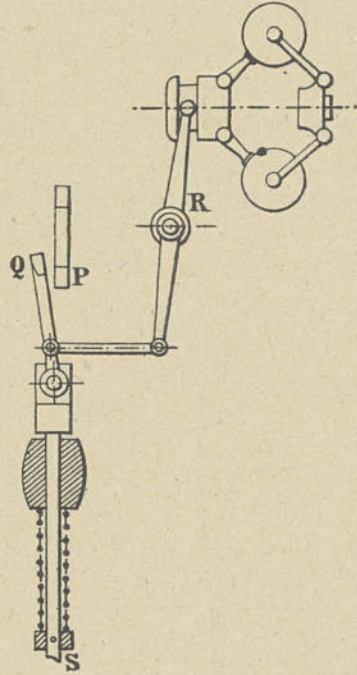


Fig. 345.  
Système de touche ou manque.



Ce dispositif a subi des modifications plus ou moins intelligentes, mais de toute manière le régulateur à boules, à axe vertical ou horizontal, pouvait suffire à tous les besoins et se prêtait bien à toutes les applications; toutefois sa construction assez coûteuse grevait lourdement les prix d'établissement des moteurs de faible puissance, et l'on a cherché à réaliser le réglage automatique de la vitesse moyenne par des appareils plus simples et moins dispendieux.

Tels étaient les régulateurs-pendules et les régulateurs d'inertie que nous décrirons d'abord.

Il en existe de nombreux modèles : nous n'oserions dire quel est l'inventeur du type, de peur de nous tromper, mais nous penchons à croire que c'est par MM. Crossley que la première application en a été faite aux moteurs à gaz : ils furent bientôt imités par de nombreux constructeurs.

Le principe des régulateurs pendulaires est le suivant : un pendule qui oscille exige un temps déterminé  $(t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}})$  pour accomplir une oscillation ; on s'arrange de manière à ce que l'appareil remplisse sa fonction en arrivant à

fond de course : il heurtera une butée, relèvera son levier, etc. Or, si la marche de la machine était trop accélérée, l'oscillation ne trouverait pas le temps voulu pour s'achever et la fonction ne s'accomplirait pas : l'admission serait donc suspendue et la vitesse diminuerait *ipso facto*.

Citons comme modèle excellent du genre le régulateur pendulaire du moteur Simplex, dans lequel le tiroir porte un double couteau, par lequel il attaque la soupape d'admission du gaz, placée en avant du tiroir de distribution : or le pendule est entaillé d'un cran qui appuie sur la queue du couteau, quand il a le temps de parfaire son oscillation, et qui dans ce cas le maintient horizontal ; s'il arrive en retard, il manque la queue et l'admission n'a pas lieu.

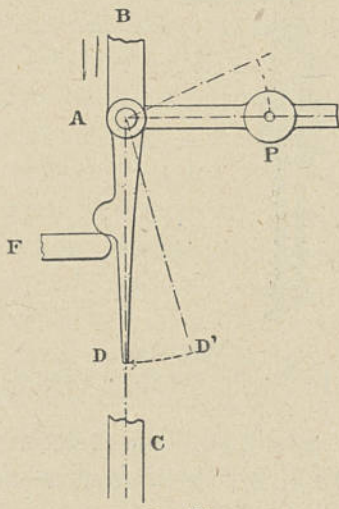


Fig. 495.

Fig. 346. — Régulateur d'inertie.

La figure 346 montre le type classique du régulateur d'inertie, dans lequel la tige de poussée AB, animée d'un mouvement alternatif de va-et-vient, est reliée au butoir C par un levier coudé, présentant d'une part un couteau, de l'autre, à angle droit, une masse P. Dans son mouvement en avant, la branche AD heurte contre la saillie F, et le coudé se trouve lancé vers la position AD'; pour une vitesse déterminée, le levier a le temps de revenir dans la verticale avant que le couteau D ne rencontre l'encoche C; dans ce cas, il y a *touche*, et une admission se produit. Mais si le moteur marche plus vite, il y aura *manque*, parce que D n'aura pas pu revenir



en face de C. En reculant le contrepoids P sur le coudé, on peut modifier à volonté la vitesse de régime du moteur.

Ces appareils se disposent verticalement ou horizontalement, ils sont ou non pourvus de ressorts auxiliaires, et les butées ont une forme ou l'autre, mais ils rentrent tous dans la catégorie que nous venons de décrire.

Niel a remplacé le levier coudé par une lame flexible formant ressort ; son extrémité est chargée par une masse ; la flèche que prend le ressort est fonction de la violence du choc qu'elle reçoit et par suite de la vitesse de la machine.

Toutes ces manières de faire possèdent le remarquable et précieux avantage de n'imposer au régulateur aucun travail qui puisse troubler son équilibre ; aussi est-il bien rare de constater, dans les moteurs bien construits, ces fâcheuses oscillations que l'on observait autrefois et qui nuisaient singulièrement à leur régularité.

Lorsque l'admission n'est plus commandée, mais qu'elle se fait par une soupape automatique, on met sous la dépendance du régulateur la soupape de décharge, qui reste alors levée dans la phase d'aspiration, ou bien qui ne s'ouvre plus dans la dernière phase d'échappement, ainsi qu'il a été dit ci-dessus. Cela étant, la soupape d'admission cesse spontanément de livrer du gaz aussi longtemps que la vitesse reste supérieure à celle de régime. Les moyens d'agir sur la valve de décharge sont calqués sur ceux que nous venons de décrire. On en a trouvé de nombreux exemples dans nos monographies de moteurs.

Le système de régulation par admission de tout ou rien est assurément le plus simple ; il a été longtemps le plus répandu.

Malheureusement il arrive souvent que les nécessités du réglage produisent deux, trois et même quatre passages à vide à la suite desquels le moteur subit un ralentissement graduel, qui est nuisible quand on actionne par moteurs des outils délicats ou des dynamos génératrices d'électricité. En augmentant la vitesse de la machine et en donnant au volant une masse suffisante, on atténue ces irrégularités dans une certaine mesure : mais on fut amené à sacrifier les avantages du tout ou rien et à accepter le moindre rendement des moteurs à admission d'un mélange à richesse variable.

Le système de régulation par suppression partielle de gaz combustible a été repris tout d'abord pour les moteurs à deux temps, auxquels il s'appliquait aisément : il a contribué à leur donner la régularité de marche et la douceur de fonctionnement qui leur a valu à un moment donné une grande vogue.

Dans les moteurs à quatre temps, on en revint tout d'abord au procédé primitivement adopté par Otto, qui consiste à employer des cames à profil variable, soit qu'elles présentent des échelons ou qu'elles aient une forme conique ; le régulateur les fait glisser le long de l'arbre de distribution et diminue la quantité de gaz admise dans le mélange, au fur et à mesure que le travail résistant diminue. Suivant les uns, il faut agir sur la hauteur de la levée de la soupape à gaz ; d'autres préfèrent au contraire faire varier la durée de la levée ;



cela ne change rien au résultat. Quelques-uns ont cherché à combiner les deux systèmes.

C'est de la sorte que procède la Compagnie du moteur Duplex : le régulateur fait glisser sur l'arbre de distribution une came dont le profil est tracé de manière à effectuer une levée, variable en hauteur et en durée, de la soupape d'entrée du gaz ; la qualité du mélange formé varie donc suivant le besoin. Mais pour une vitesse déterminée, prise comme limite supérieure, le gaz est totalement supprimé et il se produit à ce moment quelques passages à vide ; cet effet ne se constate du reste que lorsque le moteur est presque entièrement déchargé. Le volume de mélange admis reste d'ailleurs rigoureusement constant.

Ce système, comme les autres analogues, présente l'inconvénient assez grave de faire naître, par suite de l'obliquité des surfaces de la came, de fortes réactions sur le régulateur et de lui imprimer des oscillations toujours déplaisantes aux yeux et plus ou moins nuisibles à la régularité de la machine.

Le système suivant ne donne pas lieu à la même critique. Il consiste à faire emploi d'une tige de soupape dont la tête porte une série de crans (fig. 347) ; le régulateur R n'a d'autre travail à faire que de soulever plus ou moins le levier A, de manière à le présenter en face de l'un ou l'autre des étages de la tige T de la soupape. La course de celle-ci est donc modifiée suivant la position du régulateur et par suite suivant la charge du moteur : l'admission peut même être supprimée.

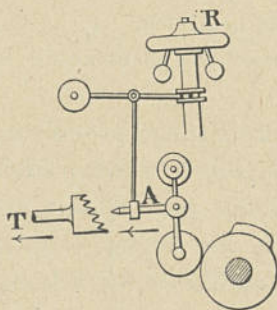


Fig. 347.  
Réglage par tige à crans.

Il y a un autre moyen fort simple de faire varier l'admission ; on peut croire qu'il a été inauguré sur le moteur National : je l'appellerai système de la plaque d'interposition. Une lame taillée en biseau vient s'intercaler entre le levier de gaz, commandé par came, et un levier pivotant sur la tête de la soupape ; le régulateur l'élève ou l'abaisse ; à la partie la plus épaisse correspond la plus grande ouverture des soupapes d'air et de gaz.

Mais on se heurtait toujours à la difficulté résultant des appauvrissements exagérés du mélange, provoquant des combustions incomplètes, ou même des ratés d'allumage.

Letombe inventa alors, en 1897, son système qu'il appelait « à surcompression », destiné à corriger ce défaut des réglages qualitatifs : plus s'accroissait la misère du mélange, plus aussi croissait sa compression préalable : idée excellente mais d'une application difficile. La complication résultant de la combinaison des trois soupapes de l'habile ingénieur fit bientôt renoncer à cette manière de faire (1).

Le procédé de réglage qui semblait devoir rallier tous les suffrages, sans pré-

1. Voir notre 4<sup>e</sup> édition, tome II, page 774.



senter de difficultés exceptionnelles d'exécution, était le réglage quantitatif, à admission variable d'un mélange de teneur constante : c'est le procédé en usage dans la machine à vapeur. Nous l'avons étudié et discuté ci-dessus, en faisant ressortir ses avantages et ses faiblesses, et en montrant de quelles diverses façons il peut être appliqué.

Par imitation de ce qui avait été fait avec tant de succès, notamment dans les machines à soupapes, du type Sulzer, on combina de remarquables systèmes à dé clic, dans lesquels le rôle du régulateur est très simple et fort rationnel.

Ce qu'il fallait découvrir, c'était une manière de régler la vitesse par admission variable d'un mélange de qualité constante, la compression restant constante.

On s'est donné beaucoup de mal pour réaliser cet objectif : rappelons les dispositions du brevet Reinhardt, dans lequel la soupape, à levée constante, est combinée avec un tiroir circulaire à dé clic, pour permettre d'apprécier les difficultés qu'on rencontre dans l'accomplissement de ce programme.

\* \* \*

Les régulateurs centrifuges sont pour ainsi dire les seuls employés aujourd'hui pour les moteurs de quelque importance : avant d'entrer dans les détails de leur description, nous croyons nécessaire de rappeler brièvement les principes mécaniques qui président à leur fonctionnement.

Considérons d'abord les appareils appartenant au type générique de Watt.

Supposons-les entièrement libres, c'est-à-dire indépendants des organes de réglage qu'ils commandent.

Appelons  $\omega_0$  la vitesse angulaire correspondante à la position inférieure du manchon, et  $\omega_1$  celle qui correspond à sa position supérieure : l'écart entre  $\omega_1$  et  $\omega_0$ , rapporté à la vitesse moyenne  $\frac{\omega_0 + \omega_1}{2}$ , mesure l'irrégularité théorique  $\delta$  du régulateur; on a donc :

$$\delta = 2 \frac{\omega_1 - \omega_0}{\omega_0 + \omega_1}$$

Un bon régulateur a une valeur de  $\delta$  égale à 0,025.

Lorsqu'il survient une variation de la vitesse, le régulateur tend à déplacer son manchon ; pour ce faire, il doit surmonter la résistance qui s'oppose à son mouvement. Pour cela, une variation  $\omega' - \omega''$  est nécessaire. Le rapport  $2 \frac{\omega' - \omega''}{\omega' + \omega''}$ , définit l'insensibilité du régulateur : on la représente par la lettre  $\varepsilon$ .

L'insensibilité  $\varepsilon$  doit être supérieure à l'irrégularité du moteur permise par le volant, sinon la variation de vitesse dans le tour ferait osciller le régulateur.

L'irrégularité du régulateur est donnée par la somme  $\delta + \varepsilon$ .

L'énergie du régulateur est produite par la force centrifuge des boules, qui est proportionnelle au carré de la vitesse angulaire : elle va en croissant depuis



la position inférieure du manchon jusqu'à sa position supérieure. Le produit de cette force par le déplacement est un travail qu'on appelle la capacité de travail du régulateur.

Ajoutons qu'un régulateur isochrone devrait avoir même vitesse pour toutes les positions du manchon; cette propriété est irréalisable, et il ne peut jamais être question que d'un pseudo-isochronisme très relatif, et d'un degré déterminé d'isochronisme. On considère que ce degré est défini précisément par la valeur de  $\delta$ .

Les régulateurs à boules, du genre de Watt, se prêtent aisément au calcul des vitesses extrêmes  $\omega_0$  et  $\omega_1$ , donc à celui de  $\delta$ ; si l'on connaît, outre le poids du manchon, la résistance totale appliquée à ce manchon, on peut aussi calculer  $\omega'$  et  $\omega''$ . On doit trouver pour  $\varepsilon$  une valeur voisine de 0,055. C'est un coefficient de stabilité.

Généralement la régularité est l'élément imposé au constructeur : c'est d'après cette donnée que l'on détermine les longueurs des bras et des bielles, le poids des boules et celui du manchon, en estimant le plus exactement qu'on le peut la résistance totale appliquée au manchon.

Les contrepoids peuvent être remplacés par des ressorts placés verticalement ou horizontalement. Ce type de régulateur présente l'avantage de réduire considérablement les masses en mouvement ; leur inertie est par suite moins grande et, lors d'un changement de vitesse, ils atteignent plus rapidement leur nouvelle position d'équilibre. Ils sont également plus puissants. Ce genre d'appareils dans lesquels le travail résistant est constitué exclusivement au moyen d'un ressort antagoniste, dont on est maître de déterminer la courbe d'allongement ou d'écrasement.

C'est ce type de régulateurs qui prévaut aujourd'hui dans les puissants moteurs. Ils sont construits par des maisons spécialisées dans ce travail, qui réalisent à cet égard une compétence spéciale, à laquelle il est avantageux de faire appel. Voici les données qu'il faut leur fournir : degrés d'irrégularité cyclique et motrice à obtenir, vitesse maximum à admettre, et travail absorbé par la manœuvre des organes de réglage.

On complète fréquemment les régulateurs par l'adjonction d'un amortisseur à huile, dont on modifie la sensibilité en étranglant plus ou moins le canal reliant les deux faces d'un piston mobile dans un cylindre. On peut surmonter ce piston d'un ressort baignant dans l'huile, dont le degré de tension, réglable en marche, permet de faire varier dans une certaine mesure la vitesse de la machine.

On munit quelquefois les puissants moteurs d'un appareil, qu'on nomme appareil de sûreté ; il est constitué par une masse tournant excentriquement et retenue par un ressort centripète. La vitesse dépassant de 15 % la vitesse normale de régime, la masse écartée de l'axe par la force centrifuge rencontre en tournant un déclic qu'elle libère ; celui-ci met alors hors de fonctionnement les appareils d'admission de gaz ou d'huile combustible.



Nous décrirons dans les pages qui suivent quelques modèles spéciaux de régulateurs qui se distinguent par une construction particulière et quelquefois par une certaine originalité de mise en œuvre.

### 1. Régulateur Crossley.

C'est un régulateur à boules avec contrepoids variable : il permet de régler la vitesse en marche sans arrêter le moteur.

Le dispositif d'attache des boules et leur liaison avec le manchon ne présente rien de particulier : toute l'originalité de l'appareil réside dans la manière dont agit le contrepoids.

Ce contrepoids *c* (fig. 348) affecte la forme d'un chapeau conique ; il est enfilé à frottement doux sur la partie supérieure de la tige *a* du régulateur, et il repose sur un ressort à boudin, par l'intermédiaire du piston *p* dont la hauteur se règle par la vis *v* et la contre-vis *v'*. Le contrepoids appuie d'autre part par sa partie inférieure sur le manchon de *m* : mais il est évident que son poids est allégé par la poussée du ressort, dont l'action est antagoniste de celle de la pesanteur. On modifie donc à volonté le poids effectif de la masse centrale *c*, et l'on dispose conséquemment de la vitesse de régime du moteur : il suffit de tourner dans un sens ou l'autre la vis *v*, ce qui se peut faire en marche, sans aucun danger.

La variation de la vitesse peut atteindre 15 %.

Dans ce régulateur, on allège la masse centrale.

MM. Richardson et Norris font varier la vitesse en comprimant un ressort, dont la tension introduit une force antagoniste à la force centrifuge ; on arrive ainsi à doubler au besoin le nombre de révolutions par minute.

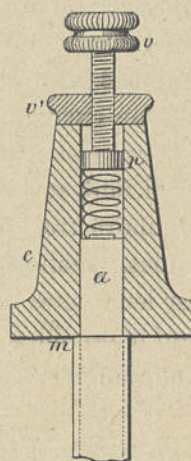


Fig. 348.  
Régulateur Crossley.

### 2. Régulateur Schæffer et Budenberg.

C'est un régulateur à quatre pendules, qui a été appliqué avec succès à plusieurs moteurs.

L'appareil est prompt et sensible, assez simple de construction et il présente, par suite, de sérieuses garanties de durée.

Ce régulateur se compose de quatre pendules angulaires, disposés symétriquement autour de l'arbre et suspendus par de petites bielles à une douille goujonnée sur ce dernier. Entre cette douille et le manchon se trouve un ressort, dont la tension initiale est réglée pour la vitesse de régime prévue à l'avance. Ce man-



chon fait corps avec une cuvette percée de quatre rainures rayonnantes, laissant passer librement les tiges à boule des quatre pendules : ceux-ci sont articulés dans des charnières venues de fonte avec cette cuvette. Un couvercle conique repose sur un épaulement de la cuvette et forme une enveloppe élégante pour l'ensemble du mécanisme.

La *Revue industrielle* du 17 juin 1893, de laquelle nous extrayons cette description, fait remarquer que les pendules en équerre sont articulés de façon à ce que les boules tendent à prendre d'elles-mêmes au repos la position la plus élevée qu'elles puissent occuper. Mais comme le poids de l'ensemble du manchon agit sur les articulations des pendules et que, d'autre part, leurs extrémités supérieures sont reliées à la douille fixe par les petites bielles de tension, ces pendules retombent au repos par le poids même du manchon. Il résulte de l'action exercée par la gravité sur les pendules qu'elle ajoute son effet à celle de la force centrifuge pendant la plus grande partie de la course.

Il faut encore remarquer que la masse moyenne des pendules offre un profil circulaire tracé du centre d'articulation, de manière à faciliter l'oscillation des boules. Quand ces dernières s'écartent, les pendules soulèvent en même temps, par leurs axes d'articulation, le manchon et sa cuvette ainsi que tout l'appareil, sauf la douille fixée à la partie centrale. Ce régulateur est donc doué d'une grande énergie relativement à ses dimensions.

Observons encore qu'en faisant varier la tension des ressorts on peut donner à ce régulateur le degré de stabilité que l'on veut. MM. Schæffer et Budenberg facilitent ce réglage en construisant des appareils dans lesquels le ressort est reporté au-dessus du couvercle de la cuvette sur lequel il bute ; sa partie supérieure est alors maintenue par un écrou vissé sur une tige placée dans le prolongement de l'axe du régulateur. Il est donc aisé de modifier la tension du ressort, même en marche : la vitesse de régime peut subir ainsi une variation de 25 %.

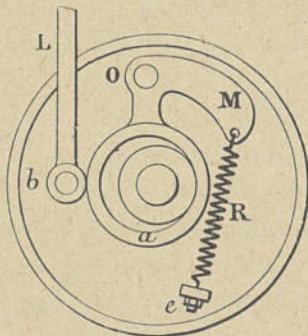


Fig. 349. — Régulateur Dawson.

### 3. Régulateur Dawson.

Ce régulateur est placé dans le volant même de la machine, et il mérite d'être décrit pour sa simplicité et son ingéniosité (fig. 349).

Une masse centrifuge *M*, oscillante autour du pivot *o*, mais rappelée vers le centre par le ressort à boudin *R*, participe au mouvement du volant. Les déplacements de *M*, sous l'action de la force centrifuge, fonction de la vitesse de rotation, ont pour effet de changer le rayon et le calage de l'excentrique *a*, lequel agit sur le levier *L* d'admission du gaz, par l'intermédiaire du galet *b*, pivoté sur



l'extrémité de ce levier. La tension du ressort se règle à volonté en agissant sur l'écrou *e*.

### 3. Régulateur Hartung.

Ce régulateur jouit toujours d'une vogue considérable; il est appliqué à un grand nombre de moteurs à gaz allemands et les frontières du Zollverein n'arrêtent pas son essor (fig. 350).

Il se compose de deux masses *S* et *S*<sub>1</sub>, ayant la forme de cylindres évidés, qui peuvent se déplacer horizontalement et s'écarter l'une de l'autre sous l'action de la force centrifuge : la tension de deux ressorts en boudins constitue la force antagoniste. En glissant sur l'axe horizontal *c*, les masses actionnent des leviers coudés *ab* et *a*<sub>1</sub> *b*<sub>1</sub> articulés, d'une part sur les masses, reliés, d'autre part au manchon *d*. L'écrou *m*, peut être serré à volonté : c'est le moyen de régler l'appareil à la vitesse de régime choisie pour le moteur. Les organes actifs sont renfermés dans une boîte cylindrique surmontée d'un couvercle à moulures *f*; quelquefois elle recouvre même l'extrémité des leviers coudés.

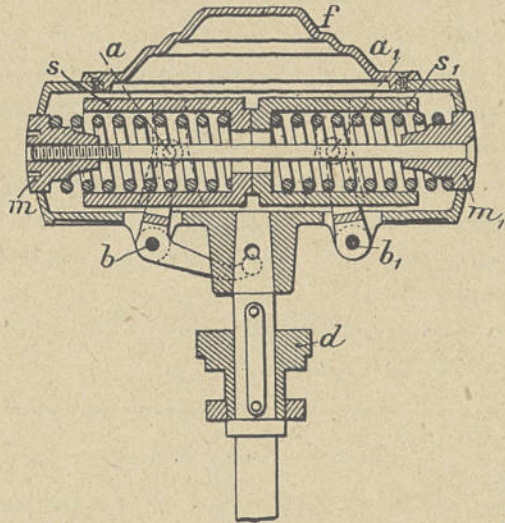


Fig. 350. — Régulateur Hartung.

Ce régulateur présente l'inconvénient de ne pas pouvoir être réglé en marche, aussi lui adjoint-on quelquefois un ressort vertical, qui agit sur le manchon *d* et dont on peut modifier la tension sans avoir à arrêter le moteur. La vitesse peut ainsi varier de 15 %, ce qui suffit en pratique.

Le tableau suivant est extrait du catalogue de MM. Hartung, qui construisent cet appareil à Dusseldorf.

|  |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |         |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Nombre de tours par minute   | 340   | 310   | 240   | 240   | 210   | 200    | 190    | 180    | 165    | 160    | 140    | 130     |
| Force moyenne en kg. ....  | 57,5  | 80    | 105   | 142   | 172   | 222    | 260    | 290    | 378    | 563    | 730    | 940     |
| Course en millimètres....  | 20    | 25    | 30    | 30    | 40    | 50     | 60     | 70     | 80     | 90     | 100    | 110     |
| Puissance de travail en kgm.<br>= Force × Course.....  | 1.150 | 2.000 | 3.150 | 4.260 | 6.880 | 11.100 | 15.600 | 20.300 | 30.240 | 50.850 | 73.000 | 103.400 |
| Variation moyenne de<br>l'Energie pour une varia-<br>tion de 2 % dans la vite-<br>sse.....                       | 2,3   | 3,2   | 4,2   | 5,7   | 6,9   | 8,9    | 10,4   | 11,6   | 15,1   | 22,7   | 29,2   | 37,7    |
| Puissance de travail pour<br>une variation de 2 % dans<br>la vitesse = variation de<br>la force × course, kg. m. | 46    | 80    | 126   | 171   | 276   | 445    | 624    | 812    | 1.208  | 2.043  | 2.920  | 4.147   |

La recommandation ci-dessous est adressée à ceux qui veulent employer



le régulateur Hartung : « Toutes les parties de la distribution doivent être équilibrées de façon à ne pas agir sur le régulateur et à ne lui offrir aucune résistance. »

La recommandation est bonne, mais plus facile à prescrire qu'à réaliser.

### 5. Régulateur Jahn.

Encore un appareil allemand construit à Offenbach-sur-le-Mein.

Il est du même type que le précédent, et il n'en diffère que par quelques dispositions de détail. Tous ses organes mobiles sont renfermés dans une boîte cylindrique en fonte, parfaitement étanche, qui peut par conséquent être remplie d'huile ; la lubrification des articulations est ainsi parfaitement assurée. Toutefois le niveau de l'huile ne dépasse pas le milieu de la boîte, mais un godet supérieur graisse les parties qui ne sont pas baignées par le lubrifiant. Les masses dont on utilise l'action centrifuge sont concentriques à l'axe des ressorts de rappel, qui sont constitués par un boudin hélicoïdal robuste et parfaitement élastique : l'importance de ces masses est considérable et elles sont bien guidées dans leurs déplacements.

Ces régulateurs donnent un isochronisme remarquable, ainsi qu'en témoignent les chiffres ci-dessous :

| POSITIONS DE LA DOUILLE | VITESSE<br>EN TOURS-MINUTE | DIFFÉRENCES          |
|-------------------------|----------------------------|----------------------|
| Supérieure.....         | $v_5 = 276,38$             | $v_5 - v_4 = 0,56$   |
| —.....                  | $v_4 = 275,82$             | $v_4 - v_3 = 0,64$   |
| Moyenne.....            | $v_3 = 275,18$             | $v_3 - v_2 = 0,75$   |
| —.....                  | $v_2 = 274,43$             | } $v_2 - v_1 = 0,81$ |
| Inférieure.....         | $v_1 = 273,62$             |                      |

La course entière de la douille correspond à 2 % de la vitesse. Le rapport du déplacement des masses à celui de la douille est de  $\frac{1}{15}$ , alors que sa valeur habituelle tombe rarement au  $\frac{1}{9}$ , quand on installe un appareil quelconque sur les moteurs.

Plusieurs constructeurs allemands se sont voués à la spécialité des régulateurs à ressort ; citons les firmes Theodor de Chemnitz, Zabel de Quedlemburg, etc. ; ces appareils ne diffèrent que par quelques détails de ceux que nous venons de décrire.

### 6. Régulateur Guillou.

Cet appareil, construit à Montrouge, dans les ateliers de M. Henri Guillou, est encore à ressort : celui-ci n'est plus disposé horizontalement, mais verti-



calement ; il ne travaille plus par extension, mais par écrasement. Il est représenté par la figure 351.

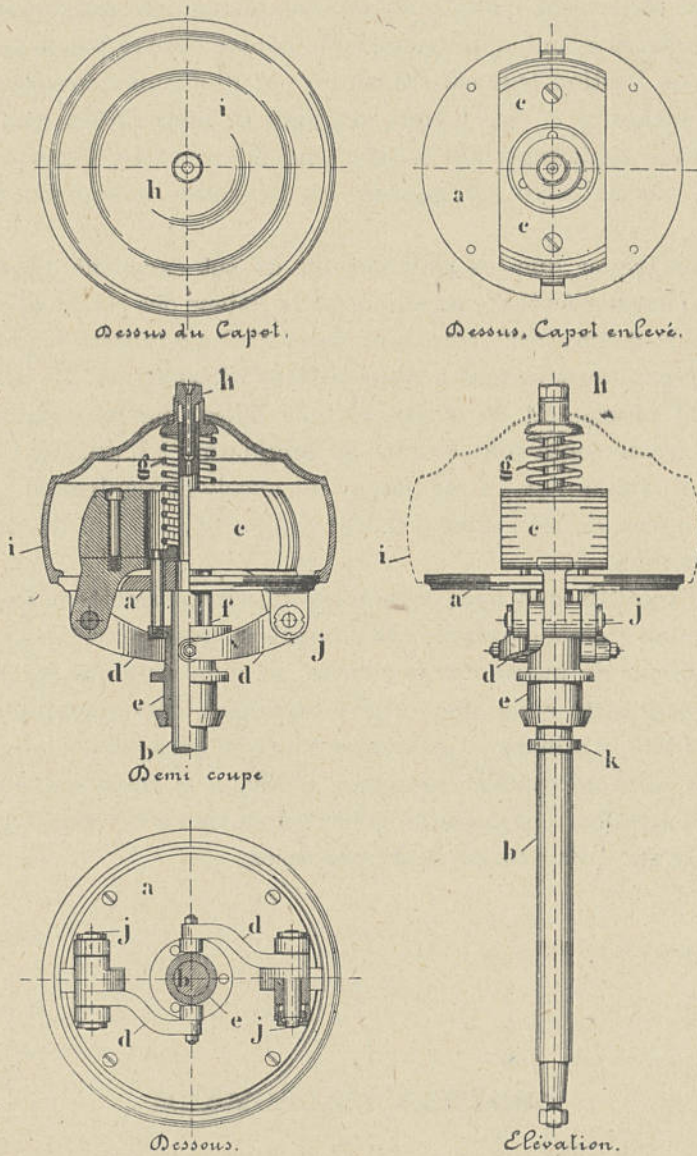


Fig. 351. — Régulateur Guillou.

Il se compose d'un plateau circulaire *a*, calé sur l'axe vertical *b* ; les appendices dont il est muni portent les axes d'articulations *j* des leviers coudés *d*, sur lesquels sont fixées les masses équilibrées *c*, d'une part, et, de l'autre, des galets qui entraînent le manchon *e*. La bride supérieure de celui-ci est reliée par les trois colonnettes *f* à un disque sur lequel appuie l'extrémité supérieure du ressort *g*. La partie supérieure de ce ressort est coiffée d'un disque, dont on modifie la



pression par la vis *h*. Enfin le capot *i*, soigneusement tourné et équilibré, enveloppe le tout.

On se rend facilement compte du fonctionnement de cet appareil. A l'état de repos, les masses *c* sont appliquées l'une contre l'autre par la tension même du ressort, dont l'action leur est transmise par l'intermédiaire des trois colonnettes, du manchon *e* et des leviers articulés *d*. Sous l'effet de la vitesse de rotation, la force centrifuge des masses tend à les écarter l'une de l'autre ; le ressort réagit par sa force antagoniste, et détermine une position d'équilibre du manchon.

Il est à remarquer que les articulations de cet excellent appareil français subissent une charge constante supérieure à la valeur des réactions et s'exerçant toujours dans le même sens ; elles sont donc moins exposées à prendre du jeu que dans les régulateurs soumis à des réactions alternatives. De plus, les sièges de travail sont munis soit de galets, soit de billes, qui ne nécessitent pas de graissage ; les frottements sont réduits au minimum et n'affectent pas le degré de sensibilité : ils assurent au régulateur un excellent rendement.

La partie inférieure de l'arbre vertical comporte un cône de montage pour le pignon de commande.

Tous les dispositifs que nous venons de décrire permettent de donner aux moteurs à gaz une grande régularité. Je pourrais reproduire ici des tachogrammes que j'ai relevés sur de puissantes machines ; ils montrent que les courbes sinusoïdales sont comprises entre deux traits parallèles, correspondants à un écart d'un tour sur 160 à la minute, et de quatre tours en brusque décharge. Ces tracés témoignent de la remarquable régularité, cyclique et moyenne, que l'on peut obtenir par les moteurs à gaz, qui ne le cèdent en rien à cet égard aux machines à vapeur. On le sait, mais on ne le dit pas assez.

## V

### ORGANES D'ALLUMAGE

L'allumage est une question primordiale en moteurs à gaz à explosion : cette fonction présente du reste de grandes difficultés, attendu qu'il ne suffit pas d'une mise de feu assez énergique pour provoquer la déflagration du mélange tonnant, il faut de plus qu'elle se produise en temps voulu et au point voulu, de manière à déterminer une combustion effectuée sous volume constant. Pour qu'il en soit ainsi, il y a des conditions spéciales à remplir, du chef de la formation, de la nature et de la qualité du mélange et de la constitution particulière des enceintes qui le renferment ; ces questions subsidiaires ont été étudiées



ci-dessus; nous n'y reviendrons pas. Nous ne nous occuperons ici que des procédés d'allumage et des mécanismes employés à cet effet.

Mais précisons d'abord nettement le résultat vers lequel il faut tendre dans les moteurs à quatre temps : c'est un bon diagramme que l'on veut obtenir, un diagramme dénotant une combustion rapide et complète, fournissant une valeur aussi élevée que possible de la pression moyenne. Que faire pour cela? Allumera-t-on exactement au point mort, ou bien un peu avant le point mort?

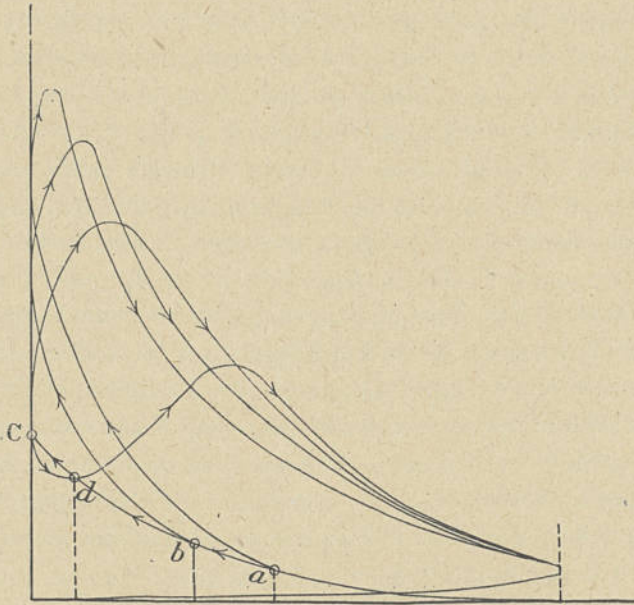


Fig. 352. — Diagrammes d'allumage.

Quelques ingénieurs n'hésitent pas à affirmer qu'une grande avance s'impose toujours. Nous allons voir si cette opinion est justifiée.

C'est à la théorie expérimentale qu'il appartient de trancher la question. Expérimentons donc sur un moteur dont on puisse régler à volonté le moment de l'allumage : la figure 352 montre les résultats obtenus lorsque l'allumage se produit aux points *a*, *b*, *d* avant le point mort, et *z* après le point mort, avec un retard notable. Ces diagrammes superposés nous font voir que les pressions explosives croissent avec l'avance à l'allumage, et que les combustions s'accomplissent plus instantanément, ce qui est avantageux; mais le travail de compression croît aussi considérablement avec l'avance. Celui-ci, qui est emprunté à l'énergie cinétique du volant, vient en décompte du travail développé dans la détente et réduit en conséquence le travail utilisable : en définitive, la pression moyenne la plus grande correspond à une certaine avance. Pour les diagrammes de notre figure, c'est le diagramme *b* qui fournit le plus de travail; mais si la compression normale était plus forte, le meilleur rendement correspondrait à



une avance moindre. Par contre, une accélération de la vitesse porterait à forcer légèrement l'avance.

Nous concluons de cet examen qu'une certaine avance est utile, voire même nécessaire, mais qu'il faut se tenir en garde contre toute exagération.

Voici d'ailleurs une remarque sur laquelle nous appelons l'attention du lecteur : l'avance que nous avons considérée ci-dessus est une avance réelle, une avance effective, déterminée par le moment précis où se produit dans le cylindre la combinaison explosive; ce n'est point du tout l'avance que semble procurer l'agencement des mécanismes. Cette avance n'est qu'apparente et nous la caractériserons par ce nom. Or, une singulière confusion s'est faite entre cet allumage *apparent* et ce qui est l'allumage *réel* : le premier correspond au moment où fonctionne l'appareil spécial qui doit faire jaillir l'étincelle, alors que le second s'applique à l'instant précis où cette étincelle jaillit dans le mélange tonnant et le fait exploser. Par suite de l'inertie des organes mis en jeu et de divers retards qui se produisent entre la *cause* et l'*effet*, il y a un temps appréciable entre l'allumage apparent et l'allumage réel : il est en général d'au moins un centième de seconde. Il est donc sensible dans un moteur à grande vitesse, et peut correspondre à un angle de 20 à 30 degrés sur la position de la manivelle. Il en résulte que si l'on veut que l'allumage réel ait lieu au point mort, il faut absolument que l'allumage apparent soit déterminé avec une grande avance. L'axiome des conducteurs de moteurs, posant en principe la nécessité d'une avance à l'allumage, est donc exact, s'il s'applique à l'allumage apparent; il est discutable si l'on entend parler de l'allumage réel, lequel n'a aucune raison d'être effectué beaucoup avant le point mort. L'intervalle de temps qui s'écoule entre l'allumage apparent et l'allumage réel ne pouvant être fixé *a priori* par aucune théorie, il convient de ne demander la solution du problème qu'à la pratique : on réglera l'avance apparente de manière à obtenir un diagramme correct et le meilleur rendement sans chocs, ni sans allumage prématuré.

L'allumage dans les moteurs à gaz a son histoire que nous avons écrite sommairement dans le premier chapitre de ce livre : nous n'en rappellerons ici que les traits principaux. Lenoir avait recours à l'étincelle électrique dans son moteur de 1860, alimenté au gaz de ville : il utilisait l'étincelle de haute tension, fournie par une bobine de Ruhmkorf, alimentée dans son primaire par quelques éléments Bunsen; un dispositif particulier provoquait mécaniquement une rupture brusque du courant primaire, au moment où l'on voulait déterminer l'allumage. Le procédé était suffisant pour un moteur à marche lente, mais le trembleur de la bobine aurait dû osciller synchroniquement avec le moteur pour donner de bons résultats. On y renonça assez rapidement, pour donner la préférence à des transports de flamme par tiroir (moteur Otto), par soupape conique (moteur Kœrting) ou autrement.

L'allumage par tube incandescent, inauguré par Hugon et Siemens, eut longtemps les faveurs des constructeurs. Rappelons qu'il fait emploi d'un tube,



fermé par un bout, mis en communication par l'autre extrémité avec la chambre d'explosion du moteur : ce tube est en métal, ou en matière réfractaire. On le chauffe au rouge par un brûleur Bunsen ; la flamme entoure le tube, et elle est protégée par une cheminée en fer, garnie intérieurement en terre réfractaire, ou par du carton d'amiante, et fermée au sommet par un dôme ou une lame perforée : la flamme ne doit pas être oxydante, et pourtant il faut qu'elle soit chaude. Il a fallu tâtonner pour obtenir ce résultat. Le brûleur est alimenté d'air d'une manière insuffisante ; mais la cheminée enveloppante est ouverte par le bas et percée d'ouvertures latérales, par lesquelles afflue le complément d'air nécessaire à la combustion complète : toutefois cet air ne vient au contact que de la surface extérieure de la flamme, et celle-ci reste réductrice en son centre. C'est ce que l'on voulait : on peut dès lors employer un simple tube de fer (un tube à gaz), fermé par sa partie supérieure, ne coûtant pas plus de quelques centimes, et durant au moins cent cinquante heures, au bout desquelles le fer a pris une structure cristalline, qui amène fatalement sa rupture. Mais il suffit alors d'un instant pour en revisser un autre à sa place.

Le tube à ignition communique avec le cylindre au moment voulu, et il suffit qu'il soit au rouge pour produire la déflagration du mélange.

Au début, on disposait toujours un obturateur quelconque entre le tube et la chambre de compression : cet obturateur s'ouvrant, la détonation avait lieu. Mais la pratique a fait découvrir une étonnante simplification. On arrive en effet à régler le moment précis de l'allumage par la longueur même qu'on donne au tube, et alors l'obturateur devient inutile. En effet, pendant que le piston aspire, les gaz brûlés qui remplissent le tube se détendent et leur niveau s'abaisse au-dessous du point où le tube est rouge : pendant la compression, le niveau remonte au fur et à mesure que la pression se développe ; dès qu'il arrive au point rougi, les gaz détonent. On fait varier à volonté l'avance à l'allumage en déplaçant convenablement le long du tube la zone d'incandescence produite par le brûleur ; mais il faut reconnaître que ce réglage est incertain et peu aisé. Les courants d'air exercent une influence marquée sur la température des différents points des tubes. D'ailleurs, le volume de la plupart des tubes métalliques change avec son oxydation et il en résulte une variation dans l'allumage ; enfin l'allure du moteur exerce elle-même une action sur l'activité du tube, qui est atténuée par une série de passages à vide. Aussi l'allumage *libre*, par un tube toujours ouvert, était-il réservé aux petits moteurs et aux machines pour lesquelles la régularité n'était pas une qualité essentielle. Pour les autres moteurs, on donnait la préférence aux allumages commandés : le tube était donc pourvu d'un obturateur, s'ouvrant au moment précis où devait s'effectuer la mise de feu. Ces obturateurs étaient des tiroirs, des robinets ou bien des soupapes. Le plus souvent, leur mouvement était obtenu par des organes mécaniques : c'était une commande géométrique réglable à volonté. Les maisons Otto, Crossley, Niel et d'autres encore imaginèrent des dispositifs fort ingénieux, qui ont eu beaucoup de vogue.



On se préoccupait surtout d'augmenter la durée des tubes, d'en faciliter le renouvellement et d'assurer un parfait réglage de l'allumage.

Pour augmenter la durée des tubes, on a essayé de remplacer le fer par des alliages suffisamment réfractaires pour ne pas fondre, et assez homogènes pour ne pas se briser : le platine convient assez bien à cet égard, quand on ne regarde pas à la dépense; le bronze d'aluminium a donné de bons résultats à M. Grob, lorsqu'il renferme 95 parties de cuivre et 5 d'aluminium. M. Weiss a employé la lave; d'autres ont composé des porcelaines spéciales, ou des terres réfractaires.

M. Wellington faisait une poterie indestructible composée de kaolin, de craie, de sable et de feldspath : un de ces tubes put fournir cinq cent quarante-six jours de fonctionnement, et l'on observa qu'ils étaient beaucoup moins sensibles que les tubes en métal aux variations de température du brûleur Bunsen et aux courants d'air.

On montait quelquefois côte à côte deux tubes, dont le second entrait automatiquement en service, dès que le premier se brisait.

Un des meilleurs inflammateurs à incandescence qu'on ait inventés était celui de M. H. Guillou : cet habile ingénieur a donné de nouveau la préférence à l'allumage *libre*, c'est-à-dire sans soupape; mais il a réussi à lui assurer une exactitude mathématique, par des moyens d'une remarquable simplicité.

Le point d'inflammation est réglé par le moyen d'une chambre de purge à capacité variable; cette chambre est implantée normalement sur le canal, et elle renferme des rondelles amovibles vissées sur un écrou d'obturation, dont on fait varier le nombre, et par suite le volume. Cette capacité a pour office de loger les gaz brûlés qui remplissent le canal d'inflammation; plus elle est grande, plus rapidement s'effectuera l'allumage; en diminuant son volume, on le retarde. En faisant varier le nombre des rondelles, on dispose donc à son gré de l'avance à l'allumage.

Cet appareil fonctionne très bien à la seule condition que le canal d'inflammation soit rigoureusement de même diamètre sur toute sa longueur, sans présenter aucun renflement ni aucun étranglement.

La durée moyenne des tubes de porcelaine Guillou est d'environ mille heures; on les remplace avec une extrême facilité, en desserrant la vis de pression du verrou pour retirer ce verrou et dégager la chape.

L'allumage par tube à incandescence a longtemps été appliqué aux moteurs; on l'appliqua même, non sans quelque succès, aux moteurs de voitures; mais les tubes en porcelaine se brisaient souvent, l'allumage était toujours assez incertain, et les courbes d'explosion témoignaient souvent de retards nuisibles. Ajoutons qu'alors les moteurs d'autos étaient monocylindriques.

Dans les moteurs à gaz pauvre, l'incandescence était insuffisante en admission variable.

L'allumage électrique, auquel on revint enfin, s'était d'ailleurs tellement perfectionné qu'on fut conduit fatalement à lui rendre la préférence.



On commença par faire de nouveau usage de l'étincelle à haute tension, produite par accumulateurs et bobine d'induction : celle-ci étant munie du condensateur Fizeau, monté en dérivation sur les bornes du primaire, contribuait efficacement à la conservation des contacts de rupture en même temps qu'elle permettait de réaliser une très haute tension.

Arrêtons-nous un instant à cette considération.

Pour franchir une épaisseur d'air d'un demi-millimètre sous la pression



Fig. 353.  
Bougie d'allumage.

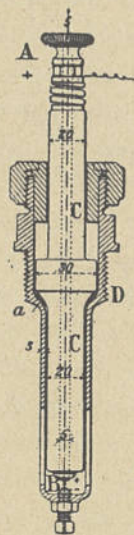


Fig. 354.  
Bougie à manchon.

atmosphérique, à la température ordinaire, il faut une tension de plusieurs milliers de volts; mais la rigidité diélectrique varie rapidement avec la pression de l'air, avec son humidité et avec différents autres éléments, parmi lesquels il faut comprendre la nature, la forme et la surface des électrodes. Pour être assuré d'un bon résultat, il est sage de compter sur une quinzaine de mille volts. On obtient aisément cette différence de voltage entre les bornes du secondaire d'une bonne bobine.

L'inflammeur à étincelles est désigné communément sous le nom de bougie d'allumage. Une bougie se compose d'un tampon dans lequel passe une tige métallique, isolée soigneusement de la masse; cette tige porte une pointe à son extrémité située dans le cylindre, en face de laquelle on dispose une autre pointe, fixée sur le métal du tampon, donc mise à la masse. La tige est isolée d'ordinaire du tampon par un tube de porcelaine, avec scellement au plâtre. La porcelaine étant exposée à se fendre, il faut prévoir un démontage facile et rapide. De nombreux dispositifs ont été proposés à cet effet.

La figure 353 représente la forme la plus simple : elle répond suffisamment bien aux conditions de l'allumage électrique, mais exige de la surveillance et



des soins d'entretien. Les contacts sont exposés à s'encrasser; une goutte d'eau interposée entre les pointes suffit pour empêcher l'étincelle de jaillir; et cet inconvénient se présente souvent à la mise en route, alors que le tampon est encore froid; c'est pour ce motif que les mécaniciens ont pris l'habitude de chauffer la bougie au départ du moteur, dans un four ou autrement.

Il y a avantage à terminer les conducteurs par des parties arrondies, plutôt que de les tailler en pointe; l'étincelle est plus chaude, parce qu'elle est plus nourrie, et elle opère une mise de feu bien plus efficace. Dans les meilleures bougies, on met une électrode arrondie en face d'une pièce massive.

Le modèle de bougie représenté par la figure 354 est recommandable; nous croyons qu'il a été établi par la maison de Dion et Bouton. Le conducteur AB occupe l'axe d'un manchon isolant en porcelaine C, engagé dans une monture métallique D, qui est à la masse du moteur : ce fil a 4 ou 5 millimètres de diamètre. Il présente sa pointe mousse en face d'un contact porté par la monture métallique de la bougie. Le joint entre porcelaine et métal est effectué sur le cône intérieur de la monture; la bougie a donc une grande liberté de dilatation et elle est par suite assurée d'une grande durée.

Le nettoyage des électrodes a toujours vivement préoccupé les inventeurs. Pour éviter leur encrassement et le dépôt d'un cambouis solide adhérent, qui se produisait dans certains moteurs à pétrole, un ingénieur autrichien animait les électrodes d'un mouvement alternatif, qui les faisait frotter l'une contre l'autre, et ne les écartait qu'au moment précis où l'étincelle devait se produire : ce mouvement était obtenu par une came. On faisait observer qu'on réalisait de la sorte un double avantage : et d'abord, les électrodes conservent au moins en un point, et cela suffit, un état de propreté qui assure le passage de l'étincelle; en outre, il se produit une sorte d'arrachement de parcelles métalliques qui nourrit l'étincelle et paraît mieux garantir l'allumage. Le raisonnement était exact, mais le procédé bien compliqué (1). Il y avait mieux que cela à faire.

La position occupée par la bougie d'allumage dans la chambre de combustion n'est pas indifférente au succès : en effet, l'expérience montre que, toutes choses égales d'ailleurs, le mélange étant identique au double point de vue de sa composition et de son homogénéité, la forme des diagrammes se modifie considérablement avec le point où l'on fait jaillir l'étincelle de mise de feu. C'était une grosse erreur du début de loger la bougie au fond d'un canal formant un cul-de-sac, dans lequel se cantonnaient des gaz brûlés, en proportion suffisante pour rendre le mélange inexplosible autour de l'étincelle : il en résultait quelquefois des ratés d'allumage et toujours des diagrammes surbaissés, sans pointe d'explosion, témoignant d'une combustion ralentie et incomplète. On les attribuait souvent à la pauvreté du gaz, mais ils provenaient en réalité de la disposition de l'allumage : la preuve en était qu'il suffisait de déplacer la bougie pour obtenir

1. *Dingler's Journal*, « Neuere Zündvorrichtungen für Gaskraft-maschine, tome 256, page 265; 6 mai 1885.



un bon diagramme, avec le même gaz et en composant le même mélange. Quelques constructeurs faisaient jaillir l'étincelle au voisinage de la soupape d'échappement : ce n'est pas encore la place qui lui convient. Mieux vaut installer la bougie contre la soupape de mélange, en un point où l'afflux des gaz frais assure toujours une parfaite combustibilité et contribue au nettoyage des pointes entre lesquelles l'étincelle est excitée.

Daimler s'était surtout préoccupé d'éviter que l'étincelle jaillisse dans un milieu rempli de gaz non inflammables; dans ce but, il avait placé la bougie dans une chambre séparée de la culasse par un passage étroit, mais pourvue d'évents qui produisent une circulation du mélange tonnant comprimé. De la sorte, les gaz brûlés ne peuvent rester cantonnés autour des électrodes; celles-ci sont d'ailleurs protégées contre les projections d'huile et les dépôts de poussières.

M. Thézard s'est inspiré des mêmes idées : l'étincelle jaillit aussi dans un réduit, mais celui-ci communique avec l'atmosphère extérieure par des orifices de 4 millimètres de diamètre, fermés lors de l'explosion par le battent automatique d'un petit clapet à ressort ou bien par le déplacement d'une bielle. Il se produit ainsi une chasse d'air qui possède, en outre des avantages signalés ci-dessus, celui de refroidir la bougie.

M. Ramonéda a perfectionné très heureusement ce dispositif en faisant pénétrer l'air par une soupape *s*, dont la tige centrale *t* porte l'électrode positive; aucun encrassement ne peut ainsi se produire, parce que le courant d'air balaie à chaque coup l'intervalle compris entre la pointe de platine et la paroi de métal; l'étincelle jaillit donc librement et à coup sûr. L'inventeur a d'ailleurs isolé l'axe de la soupape par l'interposition des rondelles de mica *m*, visibles sur la figure 355; les cannelures coniques extérieures de l'isolant empêchent les court-circuits qui pourraient être produits par l'eau déposée sur l'appareil.

Mais on a inventé bien d'autres dispositions, en ces derniers temps, qu'il nous est impossible de décrire par le détail.

L'accroissement continu de la compression amena les constructeurs à produire des étincelles de plus en plus longues, capables de surmonter la grande résistance que les gaz opposaient à leur passage.

Un premier résultat fut obtenu par un perfectionnement apporté aux bobines d'induction.

Elles présentaient un point faible, qui résidait dans la constitution de leur interrupteur périodique, appelé trembleur. Cet organe a une période de vibra-

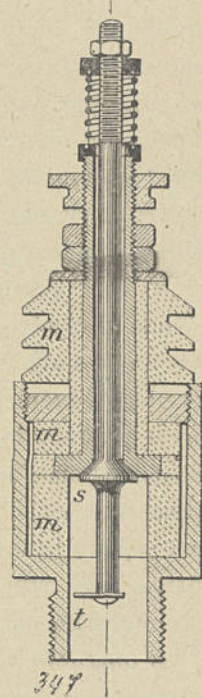


Fig. 355.  
Bougie Ramonéda.



tion relativement longue; l'étincelle qu'il fait jaillir dans le circuit secondaire ne se produit qu'un instant après que le courant primaire a été rétabli. D'où un retard, auquel il est difficile de parer dans les machines à grande vitesse. Il fallait diminuer la masse du trembleur habituellement en usage et lui substituer un vibreur.

C'est ce qui a été fait par M. Carpentier; cet habile et savant physicien a créé le *rupteur alonique*, consistant dans une lame mince attachée à un ressort, laquelle est dénuée de vibration propre. Tel est encore le dispositif Chauvin et Arnoux; ceux-ci ont imaginé un rupteur apériodique et de haute fréquence, constitué par une lame d'acier magnétique, de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur, encastrée par un bout dans une masselotte et munie à l'autre extrémité d'un contact en platine irridié: au repos, une contre-lame vient buter contre elle, terminée par un bec, placé en face d'un heurtoir. En marche, c'est ce bec qui produit une brusque rupture du courant (1).

Ces mécanismes d'allumage présentaient l'inconvénient d'exiger une source spéciale d'électricité, piles ou accumulateurs: c'était une sujétion, dont on chercha à s'affranchir en employant une génératrice de courant, mue par le moteur lui-même. C'est ainsi qu'on a été conduit à l'emploi des magnétos. Forest y avait déjà eu recours en 1884, en les faisant tourner d'un mouvement continu; mais l'adjonction d'un transformateur s'imposait toujours pour développer une tension suffisante. On réussit à se libérer du concours de cet auxiliaire encombrant et délicat en inventant les magnétos oscillantes à basse tension avec rupture de courant. Je ne sais à qui attribuer cette création, mais je le regrette, car je ne lui aurais pas ménagé la louange.

La magnéto d'allumage des moteurs se compose essentiellement d'un groupe d'aimants en fer à cheval, dans l'épanouissement polaire desquels se meut un induit en navette: c'est la machine magnéto-électrique, dérivée de celle de Clarke, décrite dans les traités de physique sous le nom de Siemens. Elle remonte au milieu du siècle dernier. Si l'on fait tourner son rotor d'un mouvement continu, elle donne naissance à un courant alternatif, qui s'intervertit quand l'axe du noyau de fer de l'induit est couché sur la ligne des pôles, et passe par son maximum d'intensité au moment où cet axe est perpendiculaire à cette ligne. Mais il suffit de donner à cet induit un déplacement angulaire d'une trentaine de degrés par rapport à cet axe, et de l'y faire revenir, rapidement, pour engendrer un courant instantané, qu'on peut lancer dans la bougie. Seulement le nombre de spires, qu'il est possible de faire porter à la navette, ne serait pas assez grand pour développer assez de tension; il a donc fallu recourir à un artifice, qui consiste à utiliser l'extra-courant de rupture. Voici comment on procède: on produit une oscillation brusque de la bobine, par le rappel énergique d'un fort ressort agissant dès que l'organe entraîneur de la bobine l'abandonne; au moment où

1. ARNOUX, « L'allumage électrique des moteurs à explosion », *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1912, tome I, page 823.



le courant atteint son maximum, celui-ci est brusquement rompu et sa tension est alors suffisante pour permettre à l'étincelle produite de jaillir de l'éclateur.

La figure 355 permet de se rendre compte de la disposition des organes d'allumage et de leur fonctionnement. Donnons-en d'abord la légende.

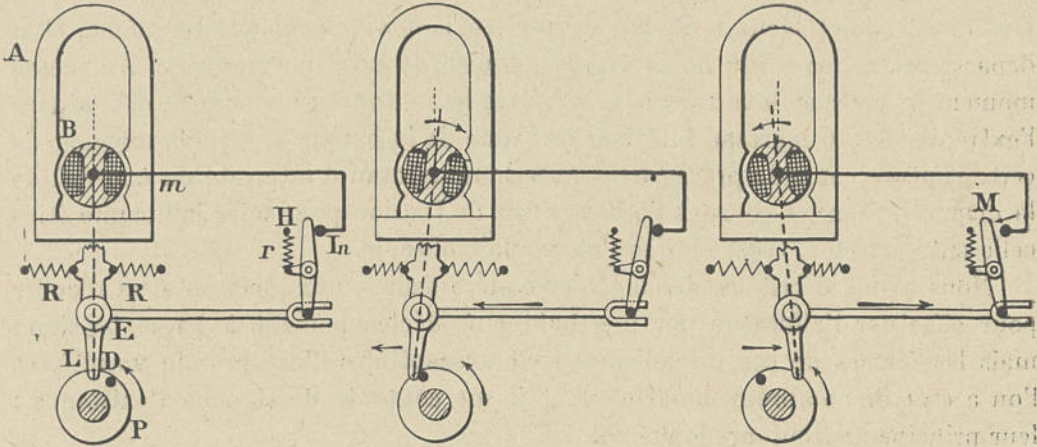


Fig. 355. — Magnéto à basse tension.

A aimants ;

B induit, dont une des extrémités est à la masse, et dont l'autre aboutit à une bague isolée, sur laquelle appuie un frotteur ;

*m n*, fil isolé reliant ce frotteur à la bougie d'allumage ;

P plateau circulaire, calé sur l'arbre de distribution, qui porte le doigt D, lequel attaque le levier L, solidaire du rotor, et le fait osciller ;

R R ressorts de rappel de L ;

E F tringle pivotée en E, terminée, d'autre part, par une fourche qui enserre un bouton, mais glisse sur lui ;

F G levier, mobile autour de G.

*r* ressort de rappel de F G.

Pour achever notre description, reportons-nous maintenant à la figure 356, qui représente la bougie et le rupteur.

Nous y retrouvons le fil *n* connecté sur l'axe I de la bougie, ainsi que le levier F G ; mais celui-ci a un prolongement G H, situé à l'intérieur du cylindre, dans la chambre d'explosion du cylindre du moteur. C'est une sorte de marteau qui viendra s'appuyer sur I, mais en sera brusquement séparé à un instant donné : à cet organe est dévolue la fonction de rupture, devant donner lieu à l'étincelle d'extra-courant.

Cela posé, les trois dessins de la figure 355 nous permettront de faire com-

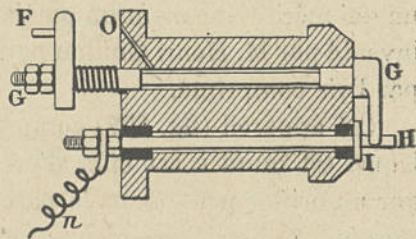


Fig. 356. — Rupteur.



prendre le fonctionnement de cet agencement de mécanismes, qui est moins compliqué qu'il ne le paraît à première vue.

Le levier L, solidaire du rotor de la magnéto, est maintenu dans la position verticale par ses ressorts ; mais la rencontre du doigt D lui imprime un déplacement angulaire, dont l'amplitude est déterminée par la durée de cette rencontre. Dès que le doigt lâche le levier, celui-ci revient vivement sur lui-même, et il dépasse même, en vertu de sa vitesse acquise, sa position moyenne. Au même moment la fourche de la tringle E F heurte le bouton du levier F G, et il sépare l'extrémité H du marteau intérieur de l'âme de la bougie I. Mais le moment de cette rupture coïncide précisément avec le maximum d'intensité du courant de la magnéto : l'extra-courant possède assez de tension pour faire jaillir une étincelle entre H et I. C'est ce que l'on voulait obtenir.

Nous avons décrit un des ingénieux mécanismes, auxquels on a eu recours pour effectuer l'allumage par une bobine à déclenchement à basse tension ; mais les formes de ces mécanismes sont susceptibles d'une grande variété, et l'on a créé de nombreux modèles dont je me contente de signaler l'existence : leur principe est toujours le même.

L'appareil est excellent, pour les moteurs à marche lente ; étant donné qu'il n'y a d'émission de courant qu'en phase de rappel du rotor, et que ce rappel peut être extrêmement rapide, la magnéto peut avoir des dimensions très réduites. Ces petites génératrices d'électricité sont robustes et leur entretien facile ; un graissage soigné et quelque surveillance pour les garder propres leur assurent une longue durée ; les aimants en acier au tungstène conservent longtemps leur magnétisme.

Le rupteur intérieur demande plus de surveillance ; il faut le nettoyer, roder et graisser l'axe oscillant, régler le ressort de rappel et aviver la surface du marteau en le frottant au papier d'émeri.

Parmi les meilleurs mécanismes de rupture que l'on ait imaginés, il en est un qui mérite une mention particulière ; je veux parler du remarquable dispositif inventé par M. Henri Guillou pour manœuvrer à distance les rupteurs de tampon par l'air comprimé.

Cet appareil (fig. 357) comprime de l'air par le levier d'oscillation du rotor, lequel est muni à cet effet d'un petit piston à air, dont le cylindre se remplit par un orifice percé dans la paroi. Ce mouvement de revient détermine la compression, qui est transmise par un tuyau creux à un piston, monté sur l'inflam-mateur ; ce piston heurte le levier du rupteur et provoque la rupture de contact.

Ce système s'applique très commodément à tous les moteurs, mais surtout à ceux dont les tampons sont difficilement accessibles ; il se prête d'ailleurs aisément au réglage de l'allumage, par un simple allongement ou raccourcissement du levier de commande de la magnéto.

Un ingénieur français, M. Caron, a fait breveter un dispositif de rupture par des moyens électromagnétiques, qui a été adopté plus tard par la Société



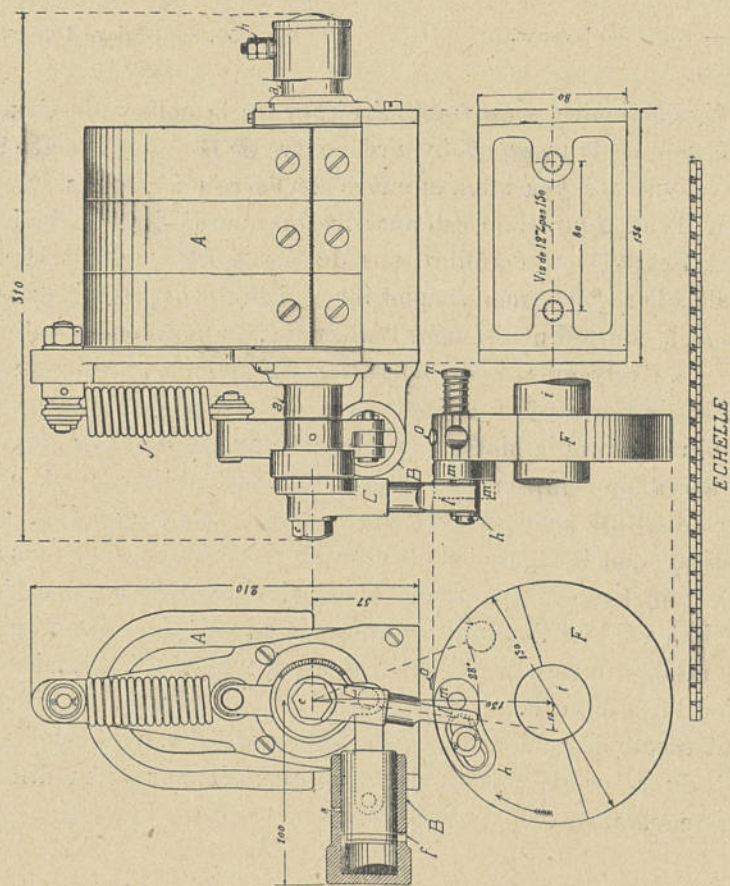
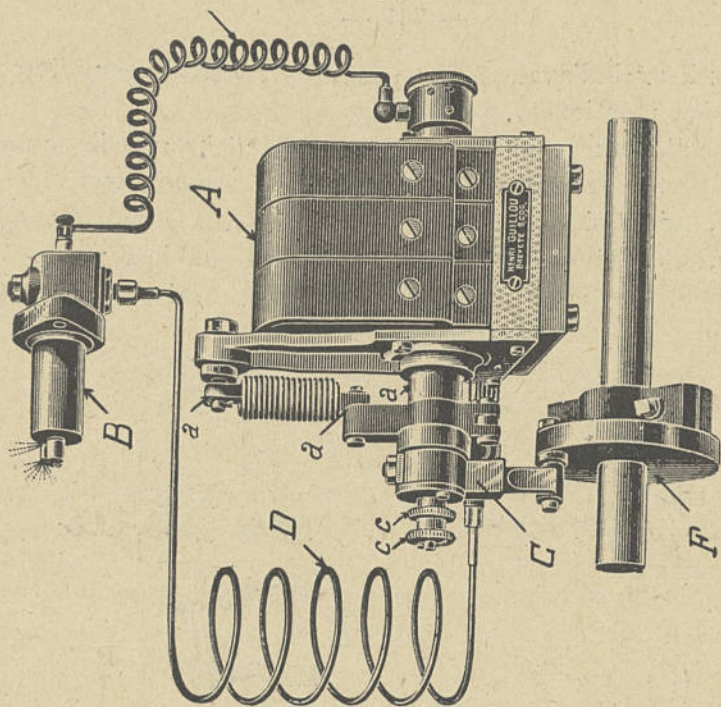


Fig. 357. — Allumage Guillot.



de Nuremberg : il avait l'avantage de pouvoir être monté sur n'importe quel moteur et de bien fonctionner.

Tout système d'allumage doit pouvoir être réglé ; ici encore il y a une grande diversité de moyens à employer. Nous donnerons comme exemple le système de la figure 358, qui est simple et facile à manœuvrer. L'excentrique E, calé sur l'arbre à cames, porte un collier, qui est muni d'une butée B ; celle-ci agit sur le bec C et elle entraîne le rotor, que les ressorts R ramènent après le déclen-

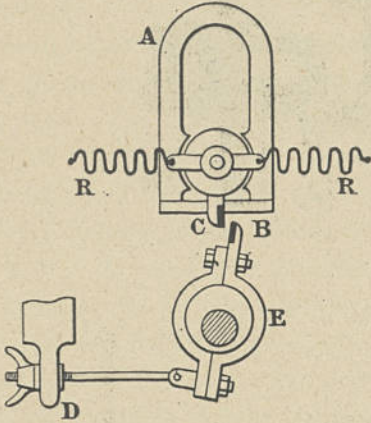


Fig. 358. — Réglage d'avance.

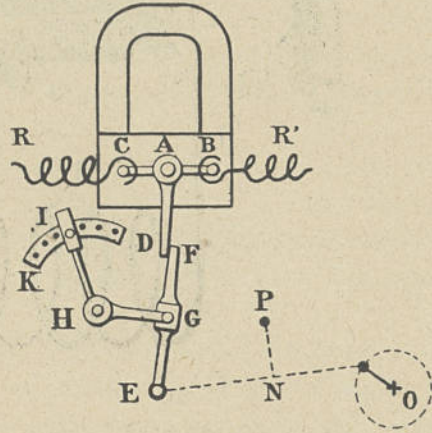


Fig. 359. — Réglage Duplex.

chement. Une tige articulée permet de faire tourner le collier de l'excentrique et de modifier à volonté le moment de la rencontre de B et de C ; cette tige peut être raccourcie à volonté par la manœuvre de l'écrou à oreilles D.

Le dispositif de la figure 359 est aussi recommandable : un levier à trois branches AB, AC et AD est équilibré par deux ressorts opposés R et R' ; la branche verticale AD reçoit le mouvement intermittent qui produit dans l'induit, monté sur l'axe A, le courant utilisé pour l'allumage. Ce mouvement est déterminé par la poussée de l'extrémité F du balancier EF mobile autour du point G, attaqué par la bielle horizontale EN et par l'excentrique ON, calé sur l'arbre de distribution du moteur ; la bielle est suspendue au point P par la tringle PN.

Le point F décrit une ellipse, dont le grand axe est horizontal et le petit axe vertical. Or, cette ellipse se déplace quand on relève ou que l'on abaisse le centre d'oscillation G, et le contact de F et de D se prolonge donc plus ou moins longtemps ; le déclenchement du levier AD est ainsi avancé ou retardé. On voit comment se règle à volonté l'avance à l'allumage ; on déplace G en agissant sur la manette IH mobile devant un secteur K à encoches, qui la maintient dans la position qu'on lui a donnée.

Ce qu'il faut rechercher dans ces méthodes de réglage, c'est que l'amplitude du mouvement du rotor ne soit pas trop influencée par la modification au moment du déclenchement.



L'allumage par rupture de contact peut être appliqué aux systèmes à deux bougies en usage dans les grands moteurs, mais il exige deux magnétos, que l'on peut toutefois attaquer par une tringle unique.

La masse des pièces en mouvement provoque des usures rapides, que l'on a cherché à supprimer en allégeant les organes le plus possible. Parmi les dispositifs inventés dans ce but, il faut signaler celui de M. Bosch. Dans ce système, dit à volet, l'armature d'induit reste immobile dans le champ ; mais une pièce est interposée dans l'entrefer et permet de produire, par ses déplacements, les variations de flux qui sont nécessaires pour l'effet électrique cherché. Cette pièce est formée de deux segments de cylindre en fer ; elle est cinq fois plus légère que l'induit et se prête donc mieux au mouvement rapide voulu ; d'autre part, il n'y a plus de contact mobile dans le circuit, puisque la bobine d'induit ne se meut pas. Ces magnétos sont malheureusement de construction plus difficile et partant plus coûteuse.

L'allumage à déclenchement par rupteur présente de grands avantages ; il est notamment moins sensible que tout autre aux encrassements ; le rupteur n'est pas exposé à l'interposition d'une goutte d'eau ou d'huile ; de plus, il présente des facilités d'isolement des fils et de la tige de l'inflammateur. Les marteaux en nickel sont durables, il faut les préférer à ceux en ferro-nickel, qui peuvent se rouiller. Les appareils à rupteur ont trouvé place sur les plus puissants moteurs, et pendant des années on n'en voyait plus d'autres sur les machines fixes de l'industrie. On a pu les monter sur les moteurs d'autos à petite vitesse relative. Mais on se vit obligé de chercher autre chose, lorsqu'on aborda les grandes vitesses et qu'on multiplia le nombre des cylindres.

Le premier mouvement ramena les inventeurs aux hautes tensions : on dit souvent que Sir Lodge est le créateur de l'allumage à haute tension ; le savant anglais a de nombreux mérites, mais il n'a pas celui qu'on lui prête dans l'espèce, attendu que Lenoir employait la haute tension dès 1860 et qu'il ne croyait pas l'avoir inventée.

M. Eisemann et la Société Nilmelior prirent comme source d'électricité une magnéto rotative, dont le courant à basse tension traversait le fil inducteur d'un transformateur statique ; mais ce courant était brusquement interrompu par l'action d'une came, déterminant une rupture de contact entre deux vis à tête platinée, au moment même où le courant passait par son maximum d'intensité, donc deux fois par tour du rotor de la magnéto. Le courant secondaire déterminé par ces ruptures du circuit primaire donnait à la bougie une étincelle à haute tension qui se prêtait à l'allumage d'un moteur à quatre cylindres. Ce système donna d'excellents résultats ; on ne pouvait lui reprocher que d'exiger un transformateur séparé.

Ce fut un grand progrès que d'incorporer ce transformateur auxiliaire dans l'armature d'induit de la magnéto. Ainsi naquit la magnéto à haute tension, dite à étincelle directe, qui parut en 1901 ; M. Arnoux en attribue l'invention



à M. Boudeville. Ce nouvel appareil était supérieur à tout ce qui avait été fait jusque-là, et il a supplanté rapidement tous les autres.

Le schéma de la figure 360 nous permettra d'exposer le principe de cette remarquable invention.

Le rotor de la magnéto I porte un double enroulement, à gros fil et à fil fin ; le gros fil fournit le courant primaire, le fil fin le secondaire à haute tension ; ils sont montés en série, étant soudés au point *m*. Le circuit primaire est constitué

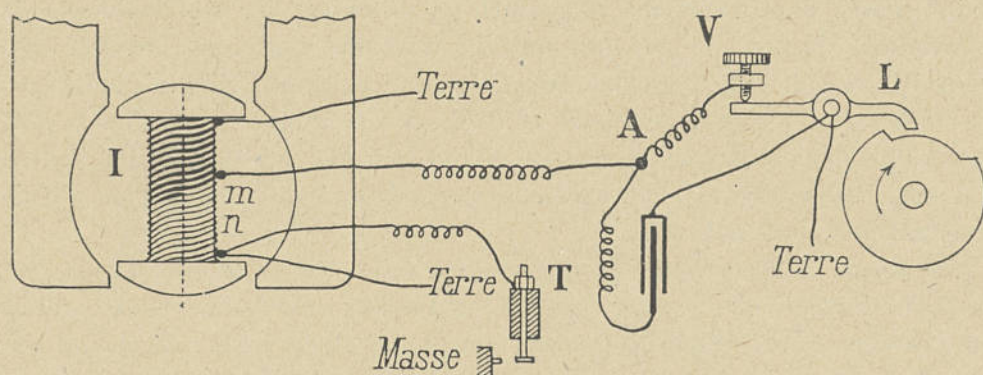


Fig. 360. — Schéma d'un allumage haute tension.

par le conducteur *m* AV et terre ; V est une vis de contact réglable. Le secondaire part de *n*, va au tampon d'allumage T, et se ferme par la terre, en produisant une étincelle entre sa pointe de platine et la masse. La came *c* interrompt le primaire en soulevant le levier L, et en lui faisant perdre le contact de l'extrémité de la vis V.

Le fonctionnement électrique de cette disposition d'organes et de fils est le suivant. Par suite de la rotation de l'armature de la magnéto, il se développe dans le gros fil du primaire un courant, que l'on coupe brusquement au moment même où il possède sa plus grande intensité. L'adjonction du condensateur Fizeau détermine une rupture instantanée. Le circuit secondaire, resté ouvert jusqu'alors, se ferme de lui-même par la production d'une force électromotrice induite à tension élevée, capable de vaincre la résistance de la couche d'air qui sépare les pointes de la bougie, et une étincelle jaillit dans cet intervalle. Comme le circuit primaire est alors provisoirement ouvert, c'est le circuit en fil fin seul qui est traversé par le courant produit. La différence de potentiel engendrée est d'autant plus grande que les courants de Foucault et les effets d'hystérésis sont moindres, ce qui s'obtient en constituant les parties magnétiques en feuilles de tôle minces. En somme, les choses se passent comme dans une bobine d'induction, mais il faut noter de plus qu'au moment où le primaire est coupé, le secondaire se trouve lui-même soumis à la plus grande et à la plus rapide variation du flux.

Voyons maintenant comment sont construits les organes de ce système d'allumage. Le circuit primaire est constitué par deux cents spires de fil de



sept dixièmes de millimètre de diamètre; l'enroulement secondaire comporte au moins six mille tours de fil de un dixième. Les extrémités sont connectées aux électrodes de la bougie, distantes d'un demi-millimètre au plus; mais souvent un de ses bouts est à la masse, l'autre arrivant à l'électrode isolée de la bougie; une extrémité du primaire est alors aussi à la masse.

Le rupteur du primaire est placé sur un plateau calé en bout d'arbre du rotor de la magnéto. On peut voir, sur la figure 361, comment les choses sont disposées pour couper le courant par la séparation des vis V. Une pièce B, isolée du plateau tournant, mais connectée avec l'extrémité du fil primaire, porte une de ces vis; l'autre a pour support le levier coudé C, pivoté en A. Ce levier est à la masse : il est muni d'un frotteur F, qui rencontre les saillies D intérieures à la couronne P, enveloppant le plateau et concentrique avec lui. Quand le frotteur rencontre une des saillies D, les vis sont séparées l'une de l'autre et le courant primaire est coupé; cela se produit deux fois par révolution du rotor, puisque les saillies sont diamétralement opposées, et cette séparation a lieu à l'instant où le courant primaire est maximum. C'est ce qu'il fallait réaliser.

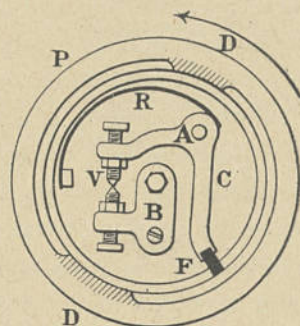


Fig. 361.  
Rupteur de primaire.

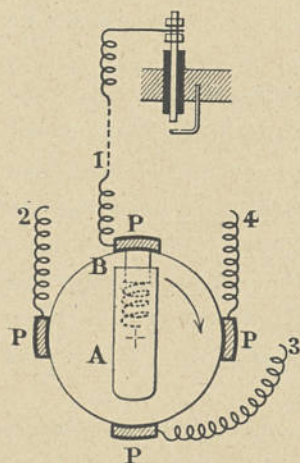


Fig. 362.  
Distribution du secondaire.

Le condensateur est renfermé dans une boîte cylindrique continuant le rotor : il est formé de deux séries de feuilles d'étain séparées par des lames de mica, constituant le diélectrique. Le fil secondaire est enroulé sur le noyau feuilleté du rotor ; il est rattaché d'un côté, comme le fil primaire, à l'axe, de l'autre à une bague collectrice en bronze, sur laquelle appuie un balai en charbon, pressé par un ressort en spirale, et connecté avec le centre du distributeur. Ce distributeur a la forme représentée par la figure 362. A l'intérieur d'un cylindre isolant B, garni par exemple de quatre plots P (pour distribuer une étincelle à un moteur à quatre cylindres), se meut synchroniquement avec le rotor un porte-charbon A, connecté avec le fil secondaire ; la rencontre des charbons coïncide avec le phéno-

mène d'induction qui produit la tension génératrice d'étincelle. Les quatre fils, 1, 2, 3 et 4 sont reliés chacun à une bougie, comme on le voit sur la figure, pour le fil n° 1. Le charbon du porte-charbon A est pressé contre les plots qu'il rencontre dans sa rotation par un ressort à boudin : on lui donne une large section pour assurer toujours un bon contact.



Nos dessins sont schématiques, mais ils permettent de se rendre compte de l'agencement général des organes ; pour les détails de construction, nous sommes forcés de renvoyer aux traités spéciaux et aux prospectus des constructeurs. Il existe aujourd'hui un certain nombre de types de magnétos à haute tension d'invention française, qui réalisent toutes les conditions requises pour procurer un bon allumage : citons entre autres marques les magnétos Nilmelior, Lavalette, Gibaud, Guillou, etc. Elles sont également recommandables par l'ingéniosité de leurs dispositions et le fini de leur exécution, et peuvent être mises en concurrence avec les machines étrangères les plus réputées.

Quand les moteurs ne doivent subir que de faibles variations de vitesse aux environs de celle de régime, on donne à l'allumage une avance fixe, correspondante à leur meilleur fonctionnement. C'est la règle pour les machines qui n'ont pas plus de quatre-vingt dix millimètres d'alésage ; elle est défendable. En effet, plus un moteur tourne vite, plus il faut d'avance, c'est vrai ; mais aussi, plus la magnéto tourne vite, plus les étincelles sont chaudes et puissantes, et cela équivaut à une certaine avance. En donnant à l'avance fixe la valeur nécessitée par les allures rapides, on ne compromet pas les mises en route et l'on ne s'expose pas aux retours de manivelle, précisément parce que les étincelles sont alors courtes et peu nourries. Toutefois plusieurs constructeurs munissent leurs appareils d'un dispositif permettant de donner momentanément quelque retard au départ ; c'est d'ordinaire une fourchette, se déplaçant dans le sens axial de l'arbre, et agissant sur la commande de la magnéto ; aussitôt le moteur lancé, on lâche cette fourchette qui est ramenée par un ressort.

Pour les moteurs plus importants, l'avance est variable : quelquefois cette variation se fait automatiquement. La Société des Automobiles Unic utilise à cet effet les variations de dépression qui se font sentir dans le carburateur suivant l'allure de marche. Un corps de pompe est interposé entre la magnéto et le carburateur ; son piston se déplace plus ou moins, suivant la dépression qui se produit à l'aspiration, et il agit par un renvoi de mouvement sur l'organe qui produit l'avance. Quelquefois on change le calage de la magnéto en faisant intervenir un mécanisme qui fonctionne sous l'action de la force centrifuge : c'est plus compliqué, mais plus sûr.

Le plus souvent l'organe se manœuvre à la main. Le système le plus simple consiste à faire pousser la couronne qui entoure le plateau du rupteur de primaire. Ce dispositif n'exige pas de description spéciale.

Celui de la figure 363 se comprend aisément aussi. Il consiste dans une modification du calage de la commande de la magnéto sur son arbre moteur. Celui-ci se termine par une vis à plusieurs filets rectangulaires saillants et à pas très allongé ; il commande la magnéto elle-même par une paire de roues dentées E et E'. Le levier à fourché L permet de faire glisser la roue E sur son axe ; mais ce déplacement a pour effet, grâce à la vis, de produire une rotation



de la roue et par suite de changer son calage ; il en résulte une variation du point d'allumage.

Quelques constructeurs font pivoter les aimants de la magnéto, d'où résulte une modification des positions relatives de l'induit et de l'inducteur : c'est le système adopté pour les magnétos Lavalette.

Une grande variation d'avance peut nuire à l'étincelle, parce qu'alors la coupure du courant primaire ne concorde plus avec le maximum de son intensité. Pour réduire cet inconvénient, la Société Bosch a eu l'idée de munir les bornes polaires diamétralement opposées d'une série de dents, dont les vides sont égaux aux pleins. Quand les épanouissements polaires de l'induit s'engagent devant ces dents, il se produit une première variation du flux, limitée par la saturation des saillies du métal; elle est suivie d'une seconde variation, provenant de la diminution de réluctance du circuit magnétique.

Dans la magnéto Nilmelior, cette double variation du flux est obtenue par l'adjonction aux masses polaires de cornes en nickel, moins magnétiques que le fer. Le résultat est le même que ci-dessus. De plus, le démarrage avec retard est facilité.

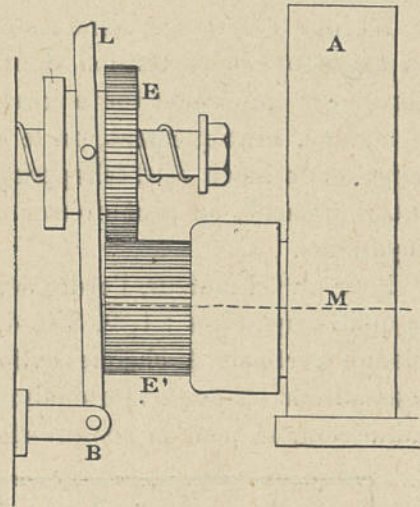


Fig. 363.  
Réglage d'avance à haute tension.

Il peut arriver que le circuit secondaire se rompe ou qu'il présente une résistance anormale; il devient alors utile d'ouvrir une porte de sortie à l'énergie induite, pour éviter de percer ou de brûler les isolants. Le parafoudre a été inventé pour éviter cette avarie; c'est une sorte de soupape de sûreté, constituée par deux sortes de peignes, dont les dents sont disposées en face les unes des autres, sans se toucher. Les étincelles se fraient un chemin en éclatant à travers ce pont d'air, dont la résistance est réglée une fois pour toutes. Il est installé dans l'intérieur d'une flasque du côté de l'entraînement.

Les magnétos étant bipolaires, elles peuvent fournir deux étincelles par révolution du rotor; on les fait donc tourner à demi-vitesse pour alimenter un ou deux cylindres, à vitesse, quand il y a 4 cylindres, et plus vite, s'il y a plus de 4 cylindres. On peut généraliser cette règle en disant que la multiplication des vitesses est donnée par le rapport  $\frac{p}{4}$ ,  $p$  étant le nombre de cylindres.

On est donc conduit au tableau suivant :

|                                  |               |               |               |               |                |               |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| Nombre de cylindres.....         | 2             | 4             | 6             | 8             | 12             | $p$           |
| Multiplication des vitesses..... | $\frac{2}{4}$ | $\frac{4}{4}$ | $\frac{6}{4}$ | $\frac{8}{4}$ | $\frac{12}{4}$ | $\frac{p}{4}$ |
|                                  | 0,5           | 1             | 1,5           | 2             | 3              | $\frac{p}{4}$ |



Les magnétos à haute tension conviennent donc très bien à l'allumage des machines polycylindriques (1) : mais les énormes vitesses pratiquées aujourd'hui, dans les moteurs ultra-légers, conduisent à faire tourner les magnétos à des vitesses qui détruisent rapidement les rupteurs et disloquent les appareils. Pour éviter cette détérioration rapide des organes, il importe de centrer rigoureusement et d'équilibrer les pièces rotatives, de renforcer les isolants et de prémunir les appareils contre les projections des huiles, dont l'action dissolvante devient rapidement néfaste.

L'ordre d'allumage, dans les cylindres, peut être réalisé sans difficulté avec les magnétos à haute tension, dont les plots du distributeur portent des numéros d'ordre qui empêchent toute erreur : il s'agit de connecter les fils d'après l'ordre de marche. Pratiquement, on le reconnaît par l'examen des positions des soupapes d'admission et d'échappement, en faisant tourner le moteur à la main. Théoriquement, on peut dresser un tableau, analogue au suivant, relatif à un 4 cylindres.

Pour un tel moteur, l'ordre dépend de la forme du vilebrequin. Numérotons les quatre cylindres : 1, 2, 3 et 4, ainsi qu'ils se suivent, et consacrons une colonne verticale à chaque cylindre, une ligne horizontale à chaque temps. Nous aurons les deux combinaisons suivantes, les temps étant marqués I pour l'admission, II pour la compression, etc. L'allumage a lieu au début de III.

| 1   | 2   | 3   | 4   |
|-----|-----|-----|-----|
| I   | II  | IV  | III |
| II  | III | I   | IV  |
| III | IV  | II  | I   |
| IV  | I   | III | II  |
| I   | II  | IV  | III |

| 1   | 2   | 3   | 4   |
|-----|-----|-----|-----|
| I   | IV  | II  | III |
| II  | I   | III | IV  |
| III | II  | IV  | I   |
| IV  | III | I   | II  |
| I   | IV  | II  | III |

Dans le premier cas, l'ordre d'allumage est 4, 2, 1 et 3; dans le second, 4, 3, 1 et 2.

On procède de même pour n'importe quel nombre de cylindres.

Pour les moteurs en V, on suit aisément encore l'ordre d'allumage, mais il faut produire les explosions alternativement dans chaque moitié avant et arrière du vilebrequin, et veiller à ce qu'au second tour, on allume les cylindres qui n'ont pas explosé au premier tour. Dans un 4 cylindres de ce type, les étincelles doivent se produire aux angles  $180^\circ$ ,  $180^\circ + a$ ,  $180^\circ$  et  $180^\circ - a$ ,  $a$  étant l'angle au centre formé par les deux lignes de cylindres. Avec une magnéto donnant deux étincelles par tour, on réalise la rupture aux angles voulus, au moyen

1. On applique souvent à l'allumage la dynamo de mise en route, alimentée par une batterie : le système se compose d'un rupteur, d'une bobine et d'un distributeur. Ce dernier est constitué par un balai rotatif, qui prend successivement contact, par un frotteur, avec chacun des plots correspondants à chaque bougie. La batterie est rechargée automatiquement par la génératrice, grâce à l'emploi d'un troisième balai. Celui-ci donne un débit constant, malgré les variations de vitesse avec une dynamo Shunt, fonctionnant en parallèle avec la batterie.



d'une came à quatre bossages, calée sur l'arbre du distributeur à demi-vitesse. Pour ces machines, les magnétos à induit fixe présentent de grands avantages.

Dans les moteurs rotatifs à  $p$  cylindres, l'angle de deux cylindres consécutifs est égal à  $\frac{2\pi}{p}$ . Comme les cylindres accomplissent leur cycle en deux tours, il faut une explosion pour chacun d'eux, donc  $p$  explosions, dans une rotation de  $4\pi = 720^\circ$ ; mais l'allumage se faisant de deux en deux cylindres, pour que chaque tour ait ses explosions motrices, l'allumage doit être réglé en conséquence. L'ordre à adopter est 1, 3, 5, . . .  $p$ , 2, 4, 6, . . .  $p - 2$ . A noter que tous les cylindres explosent en un même point de l'espace, puisqu'il faut qu'ils viennent occuper successivement la position d'allumage du premier cylindre pour recevoir une étincelle.

Les magnétos ont longtemps constitué un monopole allemand : il s'en construisait outre-Rhin plus de 300.000 annuellement, pour une vingtaine de mille chez nous; il nous en eût fallu construire 100.000 pour n'avoir rien à importer. Nos maisons de construction auraient pu les fournir, si on les leur avait demandées, et elles eussent valu les autres, qui n'avaient d'autre avantage que leur bas prix. L'intérêt national exige qu'on protège les magnétos françaises.

## VI

### ORGANES ACCESSOIRES

Il nous reste à décrire quelques organes et appareils, que nous appelons accessoires, parce qu'ils ne sont pas des éléments constitutifs des moteurs, mais dont le bon fonctionnement présente néanmoins une grande importance.

Nous commencerons par les appareils de mise en route.

Pour mettre une machine à vapeur en mouvement, il suffit d'ouvrir un robinet; les choses se passent moins simplement en moteurs à gaz, parce qu'il faut non seulement introduire dans le cylindre un mélange capable de fournir une explosion, mais qu'il est nécessaire de l'allumer; cette explosion doit être assez énergique pour effectuer un démarrage comportant plusieurs révolutions, et elle ne doit pas l'être trop, de crainte de provoquer des ruptures.

On met en route par l'application d'une puissance étrangère, permettant l'accomplissement de deux ou trois cycles pour le moins : cette puissance est empruntée aux bras de l'ouvrier, pour les petites machines; elle s'exerce sur une manivelle ou en agissant sur les bras du volant. On sait combien l'opération est quelquefois laborieuse, même pour les meilleurs moteurs; elle est particulièrement difficile et quelquefois dangereuse, dès que la compression atteint une certaine valeur.



Le génie pratique d'Otto a trouvé une solution simple au problème, en supprimant la compression au début de la marche. Pour cela, le manchon qui commande le levier de décharge est double : une de ses parties porte une came unique, qui ouvre la soupape d'échappement une fois tous les deux tours, en marche normale; l'autre partie est munie d'une came auxiliaire, qui fait lever la soupape pendant une partie de la phase de compression, grâce à un bossage supplémentaire dont elle est munie, et réduit considérablement cette compression. Un levier horizontal permet de faire glisser le manchon sur l'arbre de distribution à demi-vitesse, et de fonctionner ainsi à compression très réduite lors de la mise en train : aussitôt que le moteur a pris une certaine vitesse, on ramène le manchon dans la position normale à l'aide du levier. Ce dispositif est complété par un agencement spécial, qui retarde l'allumage au moment de la mise en route et empêche le moteur de partir en sens inverse.

On recommande de ne point ouvrir entièrement le robinet d'amenée du gaz, car on s'exposerait soit à former un mélange trop riche qui ne s'allumerait pas, faute d'oxygène, ou bien donnerait lieu à une déflagration trop brutale. Il faut agir vivement.

Pour tourner le volant, on se place devant le moteur, le regard tombant dans le creux du cylindre, et l'on presse du haut en bas sur les bras et la jante du volant.

Jusqu'à 15 ou 20 chevaux, la mise en route à bras est encore possible, sinon facile; mais il y a un tour de main à acquérir, et il faut de plus une vigueur peu commune pour donner au volant l'impulsion qui est nécessaire.

Au delà de 20 chevaux, l'opération est pénible, et ce fut un argument contre le développement en puissance des moteurs.

M. Dugald Clerk fit tomber toutes les préventions en inventant un *self starting attachment* applicable aux moteurs de tous les types, et permettant leur mise en mouvement automatique. Il comprimait du mélange tonnant dans un réservoir en acier et le faisait passer dans le cylindre.

Le self-starter Clerk fonctionnait fort bien, mais il était dangereux : on s'en aperçut trop tard.

Aussi renonça-t-on à comprimer un mélange tonnant et l'on se contenta de refouler sous pression, dans un réservoir, de l'air ou des gaz brûlés dont on utilisait l'énergie pour donner au piston une première impulsion. Je pense que l'initiateur du procédé a été M. Atkinson.

C'est le procédé presque uniquement en usage aujourd'hui; il s'est substitué à des appareils d'une incontestable ingéniosité, inventés par les divers constructeurs, fonctionnant bien ordinairement, mais auxquels on a renoncé par suite de leur complication et qui appartiennent maintenant à l'histoire (1).

Le chargement du réservoir peut être effectué par le moteur lui-même en

1. J'ai décrit de nombreux appareils Self Starting dans mes précédentes éditions, et leur souvenir a été rappelé dans le premier chapitre de ce livre, consacré à l'histoire générale de l'évolution des moteurs.



utilisant directement la compression effectuée dans le cylindre. Le procédé est en usage dans les installations de moyenne importance : il est bon.

Le cylindre du moteur est pourvu d'un clapet spécial, s'ouvrant automatiquement du dedans au dehors, ou commandé par un levier disposé à cet effet : un conduit établit la communication entre ce clapet et le réservoir. Quand on veut charger celui-ci, on commence par faire marcher la machine à vide, ce qui produit une certaine accélération de la vitesse : puis on coupe l'arrivée du gaz combustible, et l'on met le dispositif de chargement dans la position voulue pour que le cylindre se comporte comme une pompe, aspirant de l'air d'une part et le refoulant d'autre part dans la réserve. En vertu de la vitesse acquise et de l'énergie accumulée dans le volant, le piston envoie de l'air comprimé dans le réservoir. Mais la marche se ralentit progressivement. A un moment donné, on remet les choses dans l'état normal, on rend du gaz combustible, et lorsque la vitesse a regagné sa valeur de régime, on recommence le même jeu. Il suffit de trois ou quatre reprises pour que la pression de l'air comprimé devienne assez grande et permette d'effectuer de bons départs.

Pour les machines plus puissantes, on recourt à un compresseur spécial, que l'on peut commander par le moteur lui-même, ou que l'on actionne par une transmission mue par un autre moteur; fréquemment, on fait usage d'un moteur électrique.

Ces moto-compresseurs sont de divers modèles : ils sont à piston, souvent à deux cylindres; il est indiqué de prévoir un refroidissement.

On les dispose à côté du moteur et du réservoir; la firme Bollinckx le monte sur le réservoir lui-même, celui-ci étant placé en contre-bas.

M. Guillou a établi un modèle bien étudié, à poulie fixe et folle de 350 millimètres de diamètre, que l'on peut animer d'une vitesse angulaire de 300 à 400 tours par minute. Avec un diamètre des pistons de 55 millimètres et une course de 0 m. 100, on peut desservir un moteur de 150 chevaux. Il est possible aussi d'actionner cette pompe électriquement.

Le tableau ci-dessous fait connaître les dimensions habituelles des moto-compresseurs et des réservoirs :

| PUISSANCE DU MOTEUR     | COMPRESSEUR             |                     |                     | RÉSERVOIR  |                      |
|-------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|------------|----------------------|
|                         | DIAMÈTRE<br>du cylindre | COURSE<br>du piston | TOURS<br>par minute | CAPACITÉ   | PRESSIION<br>maximum |
| De 20 à 50 chevaux..... | 110 mm.                 | 0 m. 100            | 175                 | 75/litres. | 12 kg.               |
| De 50 à 100 —/—.....    | 125 —                   | 0 m. 125            | 170                 | 150 —      | 12 /—                |
| De 100 à 150 —/—.....   | 160 —                   | 0 m. 150            | 160                 | 300 —      | 15 /—                |
| De 150 à 200 —/—.....   | 200 —                   | 0 m. 170            | 150                 | 450 —      | 18 /—                |

La puissance absorbée par la compression varie de 2 à 12 chevaux; le réservoir suffit à 5 tentatives de lancement.



L'emploi des gaz comprimés réussit toujours lorsqu'on sait s'en servir, que l'air a une pression suffisante et que le gaz est bon. La came de décompression doit laisser levée la soupape d'échappement durant la moitié ou les deux tiers de la course, de manière à réduire la compression préalable à 4 kilogrammes au plus.

Le moteur est préalablement amené dans la position convenable, soit à 25° ou 30° au delà du point mort, en phase d'explosion, à l'aide d'un vireur; celui-ci est quelquefois mû par un petit moteur auxiliaire, le plus souvent électrique, qui actionne le volant par un pignon, engrené avec une denture ménagée à l'intérieur de la jante. Le vireur est muni d'un déclancheur automatique, le mettant hors de prise aussitôt que le moteur est parti.

L'air comprimé est admis dans le cylindre par une soupape spéciale, qu'on manœuvre à la main et qui met momentanément la culasse en communication avec le réservoir chargé sous une pression déterminée.

Quelquefois, le cylindre du moteur porte à cet effet une soupape spéciale, logée au fond de la culasse; plus souvent, on utilise la soupape d'admission, qui est commandée, pendant le démarrage, pour un fonctionnement à deux temps.

L'air comprimé agit sur le piston en phase d'explosion et de détente : il le pousse à fond de course et lui imprime une certaine vitesse. Deux ou trois impulsions sont nécessaires pour donner à la masse du volant l'accélération angulaire suffisante pour que le mélange tonnant, introduit ensuite par le jeu habituel de la distribution, puisse s'enflammer et exploser : on estime la vitesse qu'il faut à un minimum de  $\frac{1}{3}$  de tour par seconde. A ce régime correspond une puissance

égale à environ 15 % de la puissance nominale de la machine. On peut calculer d'après cela la masse d'air comprimé dont il faut pouvoir disposer pour opérer un bon départ. Avec un réservoir de capacité suffisante, chargé à 12 kilogrammes, on a de quoi essayer trois mises en route : il faut au moins cela, attendu que la première, voire même la seconde tentative, peut quelquefois rester infructueuse.

Aussitôt que le moteur paraît lancé, on le remet en compression normale.

La commande à la main du starter a subi diverses modifications, et on lui a donné des formes et des dispositions très variées. D'ordinaire, un levier ouvre à la fois deux valves, l'une placée sur la chambre de combustion, l'autre logée dans le tuyau qui vient du réservoir d'air comprimé : la première se ferme automatiquement aussitôt qu'une explosion s'est produite dans le cylindre. Au lieu de pratiquer une décompression à l'aide de la came de commande de l'échappement, qui en maintient la soupape ouverte pendant quelque temps, on peut se servir de l'appareil même de mise en route et lui faire ouvrir une chambre auxiliaire de compression; l'agrandissement du volume de l'espace mort diminue la compression très sûrement et présente l'avantage de restituer au piston l'énergie dépensée en compression; la première explosion produira un effet plus marqué, puisque la détente agira tout le long de la course.



La Gasmotorenfabrik Deutz a appliqué à ses puissants moteurs des soupapes commandées, dont M. Haeder donne la description complète (1). On agit d'abord sur une roue à main, pour ouvrir la soupape qui donne sur le cylindre, et le moteur démarre; un levier, actionné par l'arbre de distribution, déplace alors un tiroir cylindrique, qui laisse alternativement la pression de l'air agir sur le piston, et fait échapper ensuite cet air à l'atmosphère, après qu'il a amené le piston à fond de course.

Le Creusot pourvoit ses puissants moteurs d'appareils de mise en route remarquables. Un réservoir d'air de 3 mètres cubes de capacité, chargé à 12 kilogrammes, suffit pour une machine de 2.200 chevaux à 4 cylindres disposés en tandem et jumelés deux par deux. Le compresseur est actionné électriquement. Des tuyaux partent du réservoir pour aller à chaque effet des cylindres arrière. La commande des soupapes d'admission de l'air est pneumatique : à cet effet, un petit récipient de 350 litres est installé en dérivation sur les tuyaux; il porte un robinet d'isolement, dont la manœuvre est la seule à effectuer.

Letombe (2) a proposé un système entièrement automatique, qui ne gêne en rien la distribution normale du moteur. L'air comprimé ne peut pénétrer derrière la face du piston, qui se trouve dans sa phase de détente, qu'autant qu'une explosion n'a pas eu lieu; mais aussitôt que le moteur est en marche normale, on n'a plus qu'à fermer le réservoir d'air comprimé pour que toute la distribution de mise en route se débraie d'elle-même. A cet effet, chaque extrémité de cylindre porte une soupape de retenue, maintenue sur son siège par un ressort suffisamment tendu pour empêcher qu'elle ne se soulève pendant la période d'aspiration. Les boîtes de ces soupapes sont entièrement fermées. Chaque soupape est en communication par un tuyau avec un appareil de distribution circulaire placé au bout de l'arbre à demi-vitesse. Cet appareil se compose d'une glace G (fig. 364), concentrique à l'arbre A, et percée de quatre trous B à angle droit les uns sur les autres, communiquant par les canaux intérieurs avec quatre tuyaux T aboutissant aux quatre effets à desservir. Un tiroir circulaire C percé d'une seule lumière a appuyé sur cette glace; il peut être entraîné par un carré sur lequel il coulisse, et il tourne avec l'arbre A. L'air arrive par la tubulure D. Tant que la pression de l'air du réservoir ne s'exerce pas sur l'appareil, le tiroir n'appuie pas sur la glace; il s'y colle au contraire aussitôt qu'on donne la pression. En tournant, il distribue alors l'air, par la lumière unique qu'il possède, aux quatre tuyaux T; la pression cessant, il cesse aussitôt de porter sur la glace.

Voici dès lors comment on se sert du démarreur Letombe. Supposons un moteur à deux cylindres à double effet en tandem, avec distributions à déclat :

1. HAEDER; *Les moteurs à gaz*; traduction Varinois; Tome II, page 147. Paris Dunod et Pinat, 1909. Cet ouvrage renferme un grand nombre de données de construction, qui sont appréciées des mécaniciens, et auxquelles on peut accorder confiance, car elles sont puisées aux meilleures sources.

2. LETOMBE, « Les moteurs à gaz de grande puissance », *Mémoires de la Société des ingénieurs civils* décembre 1908.



on commence par faire tomber tous ces déclics, puis on ouvre le gaz et l'on donne la pression de l'air comprimé. L'air passe par la boîte de l'appareil et se distribue tour à tour à chaque effet, au moment où celui-ci est en phase de détente; le tiroir C est convenablement orienté pour cela. Le moteur se met doucement en marche sous l'action de l'air. Bientôt une explosion se produit; elle a pour

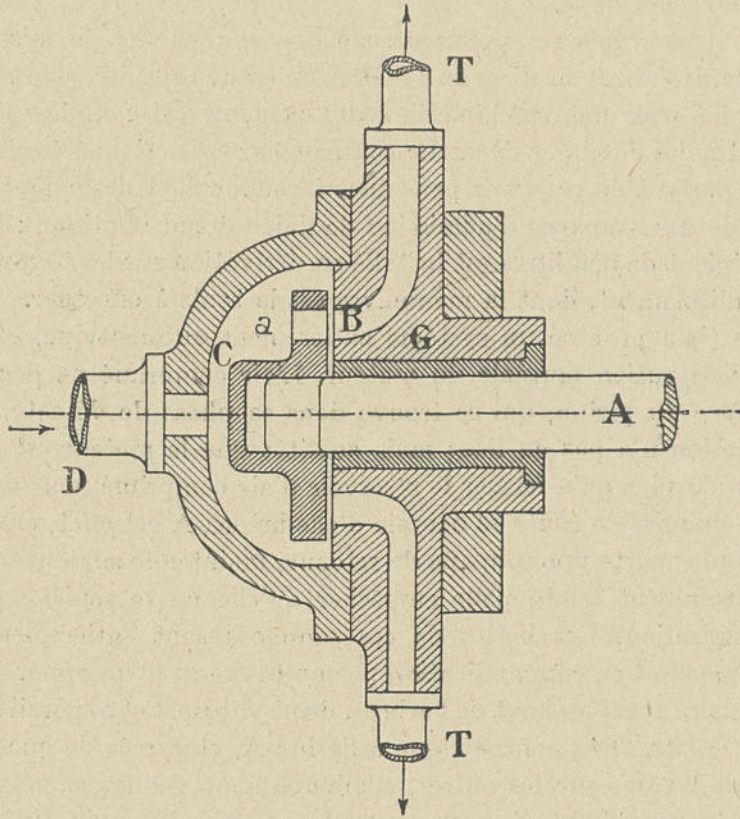


Fig. 364. — Démarreur Letombe.

résultat de faire appliquer sur son siège la soupape correspondante; le moteur passe ainsi de la marche à l'air comprimé au fonctionnement normal. On arrête le service de l'air dès que l'on entend des décharges régulières.

La Compagnie de Nuremberg emploie le plus souvent l'air comprimé pour mettre en route ses puissants moteurs, mais, quand cela est possible, elle donne toujours la préférence aux moyens électriques. Elle fait les appareils assez puissants pour qu'ils puissent remorquer le moteur en pleine compression : aussitôt la vitesse suffisante acquise, le starter se met de lui-même hors circuit. On revendique pour ce système l'avantage de débarrasser les cylindres d'accessoires délicats et encombrants et d'agir toujours à coup sûr; de plus, en servant de l'air pur au moteur, lors de ses premières révolutions, on balaie les cylindres,



et la première explosion se produit avec un mélange tonnant non pollué de gaz inertes, donnant une impulsion énergique et efficace.

La maison Felten et Lahmeyer a aussi créé un démarreur électrique, qui n'a d'autre défaut que d'être assez coûteux.

Les mises en marche par l'électricité sont fréquentes pour les machines fixes de l'industrie commandant des génératrices de courant, quand on dispose d'une batterie d'accumulateurs. C'est le procédé mis en usage sur les autos ; il exige alors une batterie spéciale, qu'on utilise d'ailleurs pour l'éclairage des phares de la voiture.

Toutefois le démarrage des moteurs de voitures s'effectue souvent encore à la main, à l'aide d'une manivelle munie d'un déclenchement automatique qui fonctionne aussitôt que le moteur est mis en route. Letombe avait proposé un appareil à air comprimé, qui était extrêmement ingénieux : mais ce sont les procédés électriques qui prédominent.

On fait usage à cet effet de batteries d'accumulateurs au ferro-nickel, qui présentent le grand avantage de rester constantes pendant plusieurs centaines de décharges. Elles alimentent un moteur série, d'une puissance de 150 à 200 kilogrammètres par seconde ; son couple est suffisant pour forcer la compression. On estime généralement qu'il faut atteindre une vitesse du moteur à essence de 120 tours par minute, avec carburateur noyé, et de 150 tours, si cette condition n'est pas remplie. A chaud, le départ s'effectue avec plus de facilité. On obtient déjà de bons résultats avec une batterie de 12 volts. La dynamo de mise en route a été utilisée, d'autre part, par les constructeurs américains pour l'allumage, et leur exemple est maintenant suivi par de nombreuses firmes françaises.

L'accroissement incessant de puissance des machines de l'aviation a aussi nécessité l'adjonction de starters spéciaux.

Le plus souvent le mécanicien d'aviation faisait ses départs de moteur en obstruant l'entrée d'air du carburateur, ce qui avait pour effet d'amener de l'essence dans les cylindres ; il suffisait alors d'un lancé à bras énergique et d'un réglage du contact d'allumage pour obtenir quelques foulées puissantes. Mais on s'exposait à un retour de la machine, qui ne laissait pas d'être dangereux. Quelquefois aussi on introduisait de l'essence dans les culasses par les robinets de décompression.

La Compagnie Wolseley a fait emploi de cartouches de départ, insérées dans les cylindres, par un dispositif *ad hoc*, qu'on faisait exploser par l'étincelle ; il en résultait une impulsion brisante non sans inconvénients.

L'air comprimé a aussi été utilisé, avec grand succès, même pour des moteurs de 300 chevaux : le poids des appareils compresseurs a pu être réduit à cinq kilogrammes par M. Salmson, pour des moteurs Canton-Unné.

Toutes ces méthodes laissaient néanmoins encore à désirer.

Les Allemands ont appliqué un nouveau système aux moteurs Maybach.



Un levier spécial fait lever toutes les soupapes d'aspiration, en même temps qu'il ferme par la rotation d'un boisseau les tuyaux de décharge : une pompe aspire alors de l'air carburé, qui remplit les cylindres. On ramène ensuite les soupapes et le boisseau à leur position normale et une magnéto spéciale de départ fait jaillir une étincelle. Ce procédé est ingénieux, mais il produit des ratés, dus à ce que le mélange explosif n'est pas comprimé.

M. Herzmark a imaginé alors de remplir d'air carburé, sous une pression de cinq à six kilogrammes, deux cylindres qui s'équilibrent, l'un étant au point d'allumage, l'autre en phase de compression ; il emploie à cet effet une pompe à main puisant du gaz au carburateur et le refoulant sous pression : un distributeur permet de diriger ce gaz vers les cylindres qu'il faut. On appuie à ce moment sur un déclic pour allumer le mélange en utilisant la magnéto de marche. Cet appareil peu volumineux ne pèse que quatre kilogrammes et peut être placé à quelques mètres du moteur.

\* \* \*

La lubrification des cylindres des moteurs à gaz est une question délicate, qui a failli compromettre au début le succès de ces machines : la réaction trop vive, dont le premier moteur Lenoir fut la victime, a été causée surtout par les exigences du graissage. Aujourd'hui, le problème est parfaitement résolu : on voit des machines marcher sans surveillance et ne dépenser qu'un à deux grammes d'huile par cheval-heure.

Ces résultats sont dus assurément à la meilleure disposition des organes, mais nous les attribuons surtout à un emploi plus rationnel des substances lubrifiantes ; je crois utile d'exposer brièvement les principes scientifiques sur lesquels reposent les derniers perfectionnements.

Rendons-nous compte d'abord des difficultés qu'il a fallu surmonter.

Dans un cylindre de moteur à gaz, la température moyenne du métal paraît moins élevée que dans une machine à vapeur, puisque l'eau de l'enveloppe n'atteint pas 100 degrés (1) ; mais, à chaque explosion, une flamme, dont on peut évaluer la température à 1.200 degrés, balaye le cylindre et brûle le lubrifiant, qui est mauvais conducteur du calorique ; il se forme un cambouis sec, dur, adhérent, carbonisé, qui raye le métal et le corrode rapidement. Dans le cylindre à vapeur, l'eau de condensation adoucit le frottement ; dans le cylindre à gaz tonnant, les cambouis augmentent la résistance au mouvement : toute la tâche incombe donc à l'huile, qu'il faut fournir à chaque cylindrée. On recueille souvent par la décharge un liquide noir, épais, mélange d'eau, d'acide et d'huile dans lequel on trouve des poussières métalliques, du fer et du cuivre et des particules charbonneuses.

On n'évite le grippement qu'au prix d'un afflux d'huile incessant, qui lave

1. La température de la paroi intérieure est bien plus considérable.



les surfaces et entraîne les concrétions charbonneuses et métalliques fixées sur le métal.

Que faudrait-il pour parer à ces graves inconvénients? On devrait trouver une substance lubrifiante, incombustible et inaltérable, graissant déjà bien à froid et graissant encore à chaud. C'est, il est vrai, la pierre philosophale dans l'espèce; en effet, les gaz, qui réduiraient considérablement les frottements, ne peuvent rester interposés entre des surfaces en contact; l'eau est elle-même trop fluide; les seules matières pratiquement utilisables sont les corps gras, dont la viscosité entre en jeu; or, les corps gras sont tous combustibles.

Toutefois il y a un choix à faire entre ces substances.

Au début, on employait des huiles animales, huile de pied de bœuf, huile de baleine, de cachalot, huile de suif ou de saindoux; elles ont de grandes et précieuses qualités, attendu qu'elles donnent de bons frottements, qu'elles sont neutres, peu altérables et que, de plus, elles ne s'atténuent pas, c'est-à-dire qu'elles gardent leurs propriétés aux températures élevées. Ce dernier point se constate à l'aide de l'appareil Coleman, dans lequel on mesure le temps que l'huile met à s'écouler, à une température déterminée, par un orifice de diamètre connu; les huiles animales sont les meilleures à cet égard. Mais elles présentent deux défauts graves. Et d'abord, elles se décomposent, en présence de la vapeur d'eau, en glycérine et en acides gras; la glycérine se dissocie elle-même en donnant de l'acide acétique et de l'acroléine; les acides se combinent avec les poussières métalliques, et il se produit une saponification en présence des alcalis. Les huiles animales ont d'ailleurs le défaut plus sérieux de brûler très facilement. On s'explique donc sans peine les mauvais résultats qu'elles ont donnés dans les moteurs à gaz.

On a dû y renoncer.

L'industrie des huiles minérales est heureusement venue mettre à notre disposition des produits dont l'emploi est beaucoup plus avantageux.

Les huiles minérales sont des produits liquides, composés de carbures d'hydrogène à points d'ébullition très différents: ce sont ou des pétroles de l'Amérique septentrionale, ou des huiles de naphte russes des bords de la mer Caspienne; ces deux provenances caractérisent des propriétés bien définies, malgré le grand nombre de puits d'extraction et de sources d'exploitation.

Ces carbures sont les mines d'or de l'industrie: on en tire plus de cinquante substances chimiquement déterminées. Rappelons que les pétroles américains sont formés surtout des carbures de la série  $C^mH^{m+2}$ ; ceux de la région caucasienne contiennent en majeure partie les carbures éthyléniques  $C^mH^{2m}$ .

La distillation permet de séparer ces multiples éléments; après avoir recueilli des éthers, puis des essences légères (gazoline, canadol), et enfin des essences lourdes (benzine, naphte, ligroïne), on extrait des huiles lampantes ou kérosènes: cette première série d'opérations s'arrête à 170 degrés et donne les composés de densité inférieure à 0,8. Il reste alors des goudrons et des huiles lourdes;



desquels on extrait les produits lubrifiants par une distillation nouvelle. Ces produits ont besoin d'être épurés, par un traitement à l'acide sulfurique et à la soude et par un refroidissement au-dessous de zéro : en comprimant la masse solidifiée, on en retire une huile dont la densité varie de 0,865 à 0,930, suivant les pétroles. Ce sont généralement d'excellents lubrifiants, dont nous voulons faire ressortir les qualités supérieures, sans favoriser aucune marque commerciale.

Ces huiles sont connues génériquement sous les noms de Vulcan, Eclipse, Phœnix, Glob-oil, huile de l'Etoile, valvoline, oléo-naphte, etc. ; elles sont onctueuses, opaques, d'un brun clair ; leur densité est variable suivant leur origine et leur fabrication. Elles ne distillent guère qu'à 280 ou 300 degrés, voire même à 320 degrés ; leurs vapeurs ne sont inflammables que vers 300 degrés ; leur tenue est bonne aux températures élevées. Pures, ces huiles sont d'excellents lubrifiants : on reconnaît leur valeur en les frottant longtemps entre le pouce et l'index ; elles paraissent rudes au toucher, mais ne donnent pas de sentiment de chaleur. On les additionne souvent frauduleusement d'huile de résine, et alors le résidu de leur évaporation est écailleux ; quelquefois on les mêle de matières mucilagineuses, ce que l'on reconnaît parce que l'agitation avec l'eau donne une émulsion blanchâtre. La réaction avec une lessive de soude ou une dissolution ammoniacale décèle les huiles grasses et l'acide carbonique ; enfin l'acide sulfurique permet de constater la présence des huiles de goudron, par la coloration foncée que prend l'huile. Bref, une fraude ou une rectification défectueuse peut être reconnue sans peine.

Or, supposons une huile minérale pure, bien rectifiée : c'est le meilleur lubrifiant des cylindres des moteurs à gaz, parce qu'il ne se décompose pas, parce qu'il brûle assez difficilement et donne moins de concrétions dures. L'huile américaine sera recommandée de préférence à l'huile russe, qui lui est souvent inférieure.

Le fait que ces huiles voient le feu dans le cylindre constitue une difficulté majeure qui impose l'emploi d'huiles, qui non seulement conservent leur pouvoir lubrifiant aux températures élevées, mais dont le point d'inflammabilité soit aussi élevé que possible.

On peut étudier simplement l'inflammabilité d'une huile en chauffant sur un bain de sable un petit récipient rempli de cette huile, dans laquelle on plonge un thermomètre ; en approchant de temps en temps de la surface une allumette allumée, on verra à quelle température on peut enflammer les vapeurs d'huile.

Mais on opère plus sûrement et plus exactement à l'aide de l'appareil Luchaire. Il se compose essentiellement d'un récipient à double enveloppe, dans lequel plonge un thermomètre ; il est muni d'un couvercle amovible, présentant sur le côté une ouverture contre laquelle on dispose une petite lampe, dont la flamme brûle tout contre cette ouverture. Pour procéder à un essai, on introduit dans le récipient l'huile dont on veut connaître la température d'inflammabilité :



l'enveloppe avait été remplie préalablement d'une huile végétale très fine (huile d'olive par exemple) ; l'huile à essayer est donc chauffée au bain-marie. On allume le brûleur sous l'appareil et la petite lampe sur le côté. Quand la température atteint un degré déterminé, la partie supérieure se remplit de vapeurs inflammables, qui forment bientôt un mélange explosif ; la lampe y met le feu, une petite détonation a lieu, la lampe est éteinte du coup et l'observateur, prévenu que l'essai est fini, relève la température marquée au thermomètre ; c'est le degré cherché d'inflammabilité. Une bonne huile de cylindre doit posséder un point d'inflammabilité supérieur à 300 degrés.

Le graissage des cylindres de moteurs a une importance considérable, car il contribue grandement à leur bon fonctionnement : des artifices nombreux ont été employés par les constructeurs pour assurer une parfaite lubrification de la paroi et la maintenir en cas d'échauffement anormal. Le plus souvent on pratique des rainures circulaires autour du piston, de manière à ce que l'huile arrose toute la surface du cylindre : malheureusement ces rainures sont exposées à s'obstruer par la formation d'un cambouis dur, à la suite d'une marche prolongée ; on risque alors de voir gripper le piston dans le cylindre. On est prévenu du danger par une diminution sensible de la puissance du moteur, qui se manifeste par un ralentissement : il importe alors de prendre quelques précautions. On ne doit pas songer à démonter le piston et à nettoyer ses rainures, car c'est un travail considérable ; il faut se garder aussi d'inonder le cylindre d'huile, dans l'idée qu'elle a pu faire défaut ; elle n'a pas manqué, mais elle s'est mal distribuée. On arrive souvent à de bons résultats en introduisant par les graisseurs un peu d'huile de pétrole dans le cylindre ; elle dissout les concrétions de carbure et peut même détacher les cambouis : on fait quelques centaines de tours de volant et l'on reprend le graissage à l'huile grasse.

Il ne faut pas chercher à réaliser d'économie sur la qualité des huiles : les huiles les moins chères sont toujours les plus coûteuses à l'emploi.

Qu'on se méfie des huiles qui forment une émulsion avec l'eau : elles constituent des mixtures qui se dessèchent rapidement et laissent un dépôt solide.

Pour ce qui est des appareils employés pour l'introduction de la substance grasse dans le cylindre, ils sont de forme variée.

Dans les petits moteurs fixes, on dispose sur le cylindre un simple graisseur en verre à compte-goutte ; il suffit généralement de quinze gouttes par minute, ce qui fait environ quinze à dix-sept grammes par heure. Pour un moteur de 100 chevaux, il est bon de donner soixante-quinze gouttes à la minute. Il importe que le débit soit régulier et continu. Un excès d'huile présente presque autant d'inconvénients qu'une légère insuffisance.

Otto installait sur ses cylindres un graisseur rotatif, commandé par courroie, dans lequel une petite manivelle, à laquelle était suspendue une tringle, ramassait de l'huile dans une cuvette inférieure et en montait une goutte par tour dans une rainure d'où elle s'écoulait au cylindre. On réglait à volonté le débit en dispo-



sant du nombre de tours de l'appareil. Ce dispositif a été modifié de toutes façons, avec plus ou moins d'originalité et de succès.

Présentement on donne la préférence aux pompes foulantes, actionnées par des cames montées sur l'arbre de distribution : le débit est visible, l'huile s'élevant par gouttes dans un vase de verre rempli d'eau salée. L'addition du sel permet à la goutte de se détacher plus régulièrement de l'ajutage.

Les graisseurs à pompe portent de petits clapets de retenue à la sortie des appareils et à l'entrée des cylindres.

C'est par refoulement aussi qu'on effectue le graissage de tous les organes en mouvement. Les portées sont calculées largement pour que la pression par centimètre carré soit inférieure à celle que produit la pompe ; mais il faut d'autre part que cet excès ne détermine pas une expulsion trop rapide des huiles.

Les paliers des machines de moindre importance sont bien souvent encore à bague tournante. Une bague en métal, alésée à un diamètre plus grand que le tourillon sur lequel elle repose, et qu'elle doit graisser, est entraînée avec lui dans son mouvement ; sa partie inférieure baigne dans un bain d'huile et en relève une petite quantité, qu'elle déverse par le dessus. Ces paliers sont munis d'un tube à niveau et d'un bouchon de vidange.

Quelques constructeurs préfèrent à la bague mobile une bague fixée à l'arbre, qui frotte à la partie supérieure contre une sorte de cuiller à ressort ; celle-ci recueille l'huile et la déverse dans une auge de distribution.

Le graissage de la tête de bielle et de son maneton doit être particulièrement surveillé ; on l'assure d'ordinaire par un anneau fixé à l'une des flasques du vilebrequin. La force centrifuge fait monter l'huile dans un tube qui aboutit à un canal foré à travers la flasque jusqu'au milieu de la soie du coudé. L'anneau doit être facile à visiter et à nettoyer.

C'est le graissage mécanique par refoulement qui prédomine dans toutes les constructions actuelles : il a l'avantage de donner un débit proportionnel à la vitesse de la machine et de ne pas dépendre de la viscosité de l'huile : celle-ci n'a plus besoin d'être aussi fluide. Une vis à pointeau permet de régler à volonté le débit.

Dans les moteurs d'autos et d'avions à très grande vitesse, on est obligé de soigner tout particulièrement le graissage de tous les organes (1). Le plus habituellement aujourd'hui, une pompe est logée à la partie inférieure du carter, et elle refoule l'huile d'abord aux paliers du vilebrequin et de l'arbre à cames, à travers des canaux débouchant sur les portées des paliers et sur les manetons des bielles ; les tourillons et les axes sont ainsi lubrifiés directement. Quant aux cylindres et aux axes des pieds de bielle, ils reçoivent l'huile qui est projetée par les têtes de bielle. Mais il est sage d'installer des masques pour

1. Parmi les graisseurs automatiques en usage pour les moteurs de voitures, signalons le graisseur Pribil, muni d'un clapet obturateur constitué par une bille : au repos, celle-ci obstrue l'orifice du canal d'écoulement, mais, en marche, ses trépidations livrent passage à l'huile. Ce graisseur est de nature à procurer une réelle économie, en supprimant toute dépense en période d'arrêt.



éviter que le liquide gras n'arrive en trop grande abondance dans les cylindres.

Quelquefois le corps de la bielle est creux, et l'huile va par ce chemin de la tête au pied de bielle, puis au maneton d'où elle passe au cylindre.

C'est le perfectionnement du graissage qui a permis de réaliser les vitesses linéaires du piston de quinze mètres par seconde, qui auraient fait frémir les vieux mécaniciens nos pères. L'emploi de l'huile de ricin a aussi contribué à ce succès ; la grande viscosité qu'elle possède à haute température procure une diminution du coefficient de frottement qu'on a estimée à 33 %.

On a beaucoup parlé du graphite comme lubrifiant ; on le mettait en suspension dans l'huile. Mais il était difficile d'en faire un mélange assez intime pour que la poussière solide ne se déposât au fond des récipients. L'oildag (oil-deflocculated graphit) de M. Acheson paraît avoir tourné la difficulté : on le fabrique en mêlant à l'huile une certaine quantité de tannin, et en formant un produit absolument neutre. Les résultats ont été, dit-on, excellents à tous égards, car on a pu augmenter fortement la compression dans les cylindres, en même temps qu'on assurait une parfaite étanchéité des pistons. L'oildag doit sans doute ses propriétés à son incombustibilité relative, qui lui conserve son pouvoir lubrifiant.

\* \* \*

La réfrigération des cylindres s'impose par la nécessité même de la lubrification : la température des parois doit être maintenue à un degré tel que les huiles conservent leurs propriétés.

On fait circuler l'eau dans l'enveloppe, soit par thermosiphon, soit par une pompe, lorsqu'on veut toujours employer le même liquide ; mais il importe de lui faire traverser un réfrigérant avant d'être remise en circulation.

Nous n'avons pas à dire ce qu'est un thermosiphon : c'est une différence thermique de densité qui y produit le mouvement du liquide. Un réservoir, dont la partie inférieure est au niveau de la partie supérieure du cylindre, est relié à celui-ci par une double canalisation, l'une qui joint les parties basses du réservoir et de l'enveloppe, l'autre qui fait communiquer leurs parties supérieures. L'eau chaude revient au réservoir, en vertu de sa moindre densité, par le tuyau du haut, auquel il est bon de donner une faible pente. Il faut que le niveau de l'eau dans le réservoir dépasse quelque peu l'orifice de la tuyauterie de retour.

La pratique démontre qu'il convient de donner au réservoir une capacité d'un tiers de mètre cube par cheval : cela permet une marche consécutive de dix heures. L'évaporation est d'un quart de litre par cheval-heure : il faut prévoir une disponibilité d'eau fraîche en conséquence. On a intérêt à installer les réservoirs à l'air libre, pour qu'ils puissent mieux se refroidir.

Les moteurs puissants imposent d'adjoindre aux appareils à eau récupérée des réfrigérants assez efficaces pour empêcher la température de l'eau de s'élever



autre mesure. Ce sont quelquefois des fascinages en branches de bouleau, plus souvent des appareils à cheminée ouverte, à ventilation automatique ou mécanique. Il est souvent aussi à conseiller d'intercaler une pompe dans le circuit, entre réservoir et enveloppe, pour activer la circulation.

En moteurs d'autos et d'avions, on emploie toujours des pompes centrifuges à engrenages ou à palettes : ces dernières fonctionnent encore bien à faible vitesse, mais elles demandent à être parfaitement construites. L'eau est réfrigérée en radiateurs, composés d'une série de tubes à grande surface, l'eau circulant à l'intérieur des tubes ou à l'extérieur. Dans le premier cas, les tubes sont garnis d'ailettes en cuivre ou en aluminium ; on les dispose en série ou en batterie, c'est-à-dire en tension ou en quantité ; dans le second cas, les tubes sont juxtaposés parallèlement, comme les alvéoles d'une ruche à miel, dont les extrémités seraient bouchées. Un ventilateur à ailettes augmente considérablement l'efficacité des radiateurs.

On a imaginé de faire évaporer l'eau dans l'enveloppe du cylindre et de condenser la vapeur formée : le dispositif était fort recommandable, mais il impliquait une complication.

Dans les puissants moteurs de l'industrie, on fonctionne souvent à eau perdue, et l'on compte alors sur une dépense de 25 litres par cheval-heure. Mais l'eau doit généralement être épurée avec soin, sinon l'enveloppe serait bientôt encombrée de dépôts calcaires qui s'opposeraient à la circulation de l'eau et à la réfrigération des parois.

On a besoin de beaucoup plus d'eau quand on refroidit les pistons et leurs tiges ainsi que les boîtes à soupapes. Il semble que l'on doive compter sur 25 litres aux enveloppes de cylindres, 10 aux pistons et 6 aux soupapes, pour maintenir les températures respectives à 30°, 40° et 45°, l'eau étant prise à 15°.

Je tiens absolument à ce que les tuyaux de départ de l'eau soient tous réunis sur une rampe placée en un point central du bâti, pour les puissants moteurs, et que des thermomètres soient placés sur chacun d'eux, de sorte que l'on puisse connaître d'un seul coup d'œil la température de tous les organes à circulation d'eau, et faire varier les débits, de manière à supprimer aussitôt qu'il se produit tout échauffement anormal de l'un d'eux.

\* \* \*

Les canalisations sont des accessoires des moteurs dont l'importance est plus grande qu'on ne le croirait de prime abord.

Il faut toujours chercher à les faire aussi courtes que possible, et à leur donner une forte section, pour diminuer les pertes de charge qu'elles produisent.

A l'admission du gaz combustible, la vitesse ne doit guère dépasser dans la conduite d'amenée une vitesse de 35 mètres à la seconde.

On interpose souvent dans cette canalisation, en amont du cylindre, un pot



d'aspiration, que l'on remplit de fibre de bois, jouant le rôle d'un tamis, et arrêtant les poussières qui peuvent venir des gazogènes. Cet organe doit présenter une certaine résistance, car il est exposé à subir ce qu'on appelle des explosions de retour; celles-ci proviennent soit d'un défaut d'étanchéité de la soupape d'admission, soit d'un vice de réglage; souvent, elles sont produites par des parties incandescentes formées dans la culasse, qui enflamment le mélange à son arrivée. Dans les moteurs scavenging, où la soupape de mélange s'ouvre avant que celle d'échappement ne soit fermée, il peut arriver qu'une charge ayant fait long feu revienne dans le pot d'aspiration et mette le feu au mélange qu'il renferme. Cet accident coïncide d'ordinaire avec une trop grande misère du gaz.

Occupons-nous d'abord des petits moteurs alimentés au gaz de ville.

Avant d'arriver au robinet du moteur, le gaz traverse une poche élastique, formant amortisseur et réserve, dont le volume doit être égal à 25 fois le volume de gaz admis par cylindrée.

Nous considérons les diamètres suivants comme un minimum, pour la partie des tuyaux comprise entre la poche de caoutchouc et le robinet du moteur, pour gaz de ville.

| PUISSANCES | DIAMÈTRES | PUISSANCES  | DIAMÈTRES | PUISSANCES  | DIAMÈTRES |
|------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| 2 chevaux. | 20 mm.    | 20 chevaux. | 50 mm.    | 80 chevaux. | 80 mm.    |
| 4 —        | 25 —      | 40 —        | 70 —      | 100 —       | 100 —     |
| 10 —       | 30 —      | 50 —        | 75 —      | 125 —       | 120 —     |

L'installation d'un gros moteur sur une canalisation de gaz strictement suffisante au service qu'elle remplissait jusqu'alors, provoque toujours de vives plaintes de la part des consommateurs dont l'éclairage est branché sur la même conduite : il s'y produit en effet de fortes fluctuations, qui peuvent être extrêmement gênantes. Ces fluctuations ont pour cause les dépressions causées par l'aspiration du piston du moteur : elles seraient insensibles, si le moteur puisait son gaz dans une réserve d'une capacité suffisante. Le meilleur moyen de les éviter serait, quand cette réserve n'existe pas, de la constituer par des poches, un tuyau et un compteur de grand volume. C'est toujours possible, mais c'est quelquefois coûteux.

Les gaziers imposent en beaucoup de villes l'emploi d'amortisseurs spéciaux appelés antipulsateurs ou antifluctuateurs. Ces appareils, de systèmes divers, sont tous basés sur le même principe. Ils sont constitués par une boîte solide, dont un des fonds est élastique, étant en caoutchouc ou en tissu imperméabilisé. Sous l'appel du moteur, ce diaphragme fléchit, mais, dans son mouvement, il ferme une valve qui isole l'appareil de la canalisation; il reprend sa convexité quand l'aspiration a pris fin et se remplit pour le coup suivant.

Un des antifluctuateurs les plus perfectionnés a été celui de la Compagnie



Duplex, à deux chambres, qui réduit les fluctuations de pression presque entièrement. Mais voici un effet auquel on ne s'attendait pas. D'intéressantes expériences, faites à la maison Potin, de Paris, ont démontré que l'antipulsateur Duplex réduit la consommation des moteurs : il s'agissait d'un moteur Charon de 60 chevaux. Sans antipulsateur, il dépensait 507 litres par cheval-heure effectif; cette consommation tombait à 440 litres avec antipulsateur; l'économie était donc de 13 %. Pour un moteur de la Compagnie parisienne, installé au Garde-Meuble des Champs-Élysées, le bénéfice a été moindre, mais il a encore atteint 7,44 %.

Les poches de caoutchouc et les antipulsateurs ne sont évidemment plus nécessaires dans les installations de gazogènes par aspiration.

Pour les moteurs alimentés au gaz pauvre ou au gaz de hauts fourneaux, la section des soupapes et des canalisations doit toujours être agrandie : les pouvoirs calorifiques très différents de ces gaz combustibles, et la proportion variable d'air nécessaire pour former un bon mélange, imposent des dimensions spéciales à chaque cas; nous ne pouvons donc donner ici d'indication générale. Toutefois, nous estimons que le volume de la cylindrée doit pouvoir être rempli pendant le quart de la course du piston, pour une vitesse de passage de 40 mètres à la seconde au maximum. On prendra pour section libre de la soupape le produit  $\pi DH$  du périmètre de son siège par la hauteur de sa levée. Comme exemple de ce calcul, prenons un moteur au gaz pauvre, de 500 millimètres de diamètre, de 0 m. 750 de course, faisant 150 tours à la minute : les soupapes de mélange devront avoir pour le moins un diamètre de 180 millimètres et une levée de 20 millimètres.

En traçant la monographie des moteurs, nous avons donné à dessein des dimensions de soupapes et de canalisations qui seront consultées avec profit.

Pour le moteur de 700 chevaux au gaz de hauts fourneaux, de la Compagnie de Nuremberg (diamètre du cylindre = 1,320 millimètres; course = 1 m. 400; nombre de tours par minute = 90), le tuyau d'amenée du gaz a 600 millimètres de diamètre.

Il est toujours prudent d'installer sur le chemin du gaz combustible, entre le cylindre et la cloche de réserve, un clapet automatique de fermeture, destiné à empêcher éventuellement toute explosion de retour de se répercuter sur la canalisation. C'est un simple obturateur, monté sur charnières, ne présentant pour ainsi dire aucune résistance au courant gazeux dirigé vers le cylindre, mais qui barrerait le passage à toute action dirigée en sens inverse.

Nous ne conseillons pas de puiser l'air du moteur dans une cave ou dans un espace clos; il peut, en effet, s'y accumuler, par le fait d'un réglage défectueux du moteur ou pour une autre cause, des gaz explosifs, dont la mise de feu pourrait être effectuée par le moteur lui-même et provoquer de graves accidents. Une explosion qui a eu lieu au Champ-de-Mars, en 1900, a été attribuée à l'une des causes susdites.



Quand on prend l'air dans la cavité du socle, il s'y produit quelquefois aussi des explosions, qui sont toujours très sonores et peuvent même devenir dangereuses. Le mieux est assurément d'aspirer l'air à travers un tuyau débouchant au dehors, protégé contre l'introduction de toutes poussières.

Les canalisations de décharge ont aussi leur technique, dont nous devons tracer les grandes lignes; elle est dominée par un principe: il faut par-dessus tout réduire au minimum les résistances opposées au mouvement des gaz. Pour cela, on fera les conduites aussi courtes que possible, on proscriera les coudes inutiles, on augmentera le rayon de courbure de ceux que l'on ne peut éviter et l'on donnera aux tuyaux une large section. Cette section doit être supérieure à celle de la soupape de décharge; nous conseillons de l'augmenter d'au moins un quart: on évite ainsi les résistances anormales créées au départ des gaz chauds, qui se traduisent au moteur par une contrepression quelquefois très sensible. Pour les moteurs à deux temps, on a reconnu l'utilité de forcer encore ces sections.

Tous les constructeurs reçoivent les gaz brûlés dans un pot d'échappement qu'on aurait tort d'enterrer dans le sol, car il faut qu'il reste accessible: le mieux est de l'enfermer dans une cavité maçonnée, qu'on peut recouvrir d'une tôle. Le pot doit être muni à sa partie basse d'un tuyau de purge des eaux condensées, à robinet de fonte. On fait partir le tuyau verticalement du pot, si on le peut. La température à laquelle ce tuyau est porté exige qu'on en éloigne tout corps combustible, exposé à prendre feu, notamment à la traversée du toit.

Il faut se garder de diriger les gaz dans une cheminée du bâtiment: ce serait dangereux. On ne doit pas non plus faire déboucher dans un récipient commun les décharges de deux moteurs, de peur que le mouvement des gaz ne se contre-carre; au cas où l'on se verrait obligé de diriger les gaz vers une galerie unique, les embranchements ne seront pas faits en T, à angle droit, mais par des raccords courbes.

Le bruit produit par la décharge des moteurs, bien qu'atténué dans une certaine mesure par les pots d'échappement, ne laisse pas que d'être fort désagréable dans le calme des nuits; souvent les voisins se plaignent de ne plus pouvoir dormir, quand on installe près d'eux des moteurs d'une certaine puissance, pour éclairer des îlots de maisons ou des habitations qui exigent de la lumière jusqu'à une heure avancée. Il importe donc d'étouffer le plus possible ce bruit cadencé et agaçant d'une décharge de moteur. On y arrive sûrement, mais à grands frais, en installant le moteur en sous sol dans des cours ou des jardins, et en dirigeant les gaz de l'échappement dans un large carneau, logé lui-même dans le sol, et aboutissant à une cheminée d'évacuation assez longue pour que les gaz débouchent à l'air avec une pression très faible. Si l'on manque d'espace, on peut réaliser des chicanes dans ces carneaux sur le chemin des gaz, ou leur faire traverser des chambres plus spacieuses, jouant le rôle d'amortisseurs. Ces chambres donnent généralement d'excellents résultats.



Quand on a une batterie de plusieurs puissants moteurs, qu'on veut absolument silencieux, on dirige leur décharge dans un long carneau horizontal de large section; quelques-uns se sont bien trouvés d'une injection d'eau pour refroidir les gaz; on a même appliqué des ventilateurs pour aspirer ces gaz. Les pots d'échappement en métal, même remplis de pierres, sont toujours trop sonores, quand la puissance des moteurs est considérable.

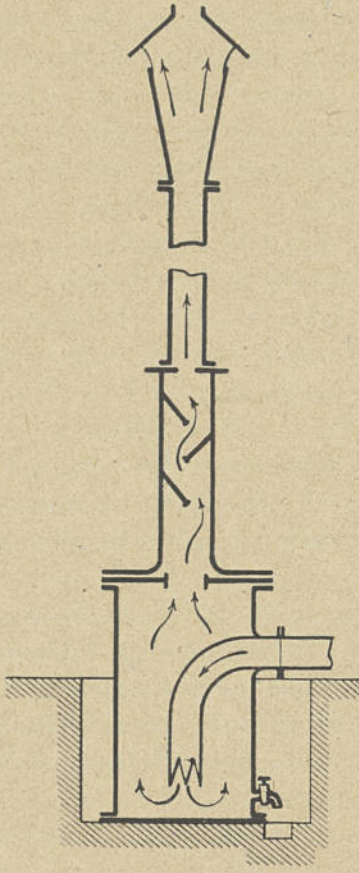


Fig. 365. — Silencieux.

On a inventé divers appareils, qu'on a appelé des silencieux, ou des amortisseurs; ils sont presque tous fondés sur le même principe d'atténuation des pressions et des vitesses par frottement contre des obstacles successifs.

Signalons notamment l'appareil ingénieux de M. Chevalet, qui emploie des anneaux de scrubber. Ce sont des cuvettes en fonte ou en poterie, dont le fond est percé d'un grand nombre de trous, surmontés d'une petite cheminée; d'un côté, elles présentent un rebord étroit, de l'autre une large gorge d'emboîtement. On empile les anneaux les uns sur les autres, en introduisant les rebords de l'anneau supérieur dans la gorge de celui qui est en dessous; on peut même consolider l'édifice et assurer une certaine étanchéité à l'ensemble en garnissant les joints avec du mastic Serbat. Les cuvettes sont remplies de copeaux de bois, qu'on arrose par un jet d'eau tombant de haut en bas et marchant en sens inverse des gaz brûlés. Cet appareil donne de bons effets et il désinfecte les produits de décharge des moteurs à pétrole.

M. Serment a construit une boîte d'amortissement, dans laquelle le courant de gaz s'étale et tourbillonne avant de se décharger dans l'atmosphère. C'est un pot cylindrique en fonte, fermé par un couvercle; les gaz brûlés y pénètrent tangentiellement, ils y tournent, puis ils s'échappent par un tuyau vertical traversant le couvercle. Le diaphragme qui fait tourner les gaz est constitué très simplement par une cloche de fonte excentrée.

Nous ne suivrons pas les inventeurs dans cette voie où leur imagination s'est donnée libre carrière. Le dispositif de la figure 358 est celui que nous recommandons : il n'est pas breveté. Une succession de chicanes et un élargissement de la section du tuyau diminuent la vitesse du jet à son débouché dans l'air exté-



rieur : c'est ce que l'on cherche à obtenir, en s'efforçant de créer le moins de résistance possible au mouvement des gaz.

On a aussi inventé des appareils *amortisseurs* désinfecteurs.

Les moteurs à pétrole n'embaument généralement pas les maisons dans lesquelles on les installe, et les voitures automobiles en circulation dans nos rues se chargent de l'apprendre à qui ignore ce fait ou veut en douter. Le passant en est plus affecté que les chauffeurs.

Qu'est-ce qui sort d'un moteur plus ou moins bien réglé? De l'acide carbonique, ce qui est normal; de l'oxygène, dont on ne saurait se plaindre; mais aussi de l'oxyde de carbone et des hydrocarbures non brûlés, produits toxiques et nauséabonds.

Un chimiste a absorbé ces gaz et vapeurs par de l'oxyde de cuivre, des chromates et un mélange breveté dans lequel se trouvent des oxydes de platine, d'iridium, de palladium et de matière inerte. Ce composé devient incandescent à la température de la décharge et parfait la combustion des gaz mal brûlés. Nous citons cette singulière invention pour la curiosité du fait.

Dans les puissants moteurs, on refroidit le tuyau d'échappement à sa sortie du cylindre par une circulation d'eau, ce qui présente de nombreux avantages, et notamment évite au personnel de service de brûler ses vêtements au contact du métal surchauffé quelquefois jusqu'au rouge sombre.

Il se produit fréquemment des détonations dans la tuyauterie de décharge : il en faut chercher la cause dans une fermeture imparfaite de la valve d'échappement; en phase de compression, il se produit une fuite de mélange vers le pot, et ce mélange y est enflammé en phase d'explosion; cela fait plus de bruit que de mal. Il faut s'empresse de vérifier l'état de la soupape et de voir si le réglage n'est pas devenu défectueux.

Nous avons suffisamment insisté, au cours de notre étude théorique, sur l'importance des pertes de chaleur par les gaz brûlés de la décharge pour n'avoir pas à démontrer ici l'intérêt qu'il y aurait à récupérer une portion de ces calories perdues. De nombreux constructeurs ont pris à tâche de soustraire aux gaz la chaleur qu'ils transportent sans utilité à l'atmosphère. On a commencé par faire des installations de chauffage d'usines, puis on a construit des poêles; pour les machines de plus grande puissance, on a monté des chaudières à vapeur.

Parmi les constructeurs qui ont le plus développé cette intéressante application, nous citerons au premier rang la Société Alsacienne : celle-ci a dessiné un générateur formé d'un corps tubulaire principal, surmonté d'un réchauffeur, également tubulaire, auquel on peut adjoindre un surchauffeur placé dans la conduite d'adduction des gaz. Les faisceaux tubulaires sont prévus avec un dispositif spécial permettant de les démonter aisément pour les nettoyer intérieurement et extérieurement.

Les résultats ont été excellents.

La récupération de la chaleur emportée par les gaz d'échappement permet



de produire 0,7 à 0,8 kilogramme à l'heure de vapeur, à 12 kilogrammes de pression et 300°, par cheval de puissance du moteur en marche normale. Quand la charge diminue, le rendement du moteur décroît, tandis que la récupération augmente et peut atteindre 1,1 à 1,2 kilogrammes de vapeur à l'heure par HP; la perte résultant de la diminution de rendement est, de ce fait, sensiblement réduite.

Supposons, à titre d'exemple, une chaudière de récupération appliquée à un moteur de 300 chevaux. En admettant une marche continue à pleine charge et une production normale de 0,75 kilogramme de vapeur à l'heure, à 12 kilogrammes et 300° par HP du moteur, on obtient 2.250 kilogrammes de vapeur à l'heure, susceptibles de fournir 400 à 500 chevaux environ dans une machine ou turbine à vapeur, suivant la puissance de l'unité adoptée. Produite par des chaudières chauffées au charbon et en admettant une vaporisation de 7 kilogrammes, cette quantité de vapeur aurait exigé la combustion de 320 kilogrammes de houille à l'heure, soit 2.500 tonnes par an.

Aux prix pratiqués depuis la guerre, l'économie réalisée est de l'ordre de grandeur de plusieurs centaines de mille francs annuellement. Comme il n'y a ni manutention de combustible et de scories, ni frais appréciables de main-d'œuvre, l'amortissement de l'installation sera extrêmement rapide, d'autant plus que les frais d'établissement sont sensiblement moindres que pour une chaudière normale nécessitant des bâtiments, des charpentes et des maçonneries importantes.

\* \* \*

Nous avons quelques mots à dire sur les fondations.

Un des plus grands avantages des petits moteurs à gaz et ce qui permet de les installer partout, c'est précisément qu'ils n'exigent pas de fondations : deux longrines en bois et quelques boulons suffisent pour fixer leur socle sur un plancher.

Un simple soubassement en pierre, ou en briques assemblées au ciment, peut fournir une solide et bonne assise à des moteurs de 100 chevaux et même plus.

Pour les plus puissants moteurs, il faut des massifs de maçonnerie semblables à ceux que l'on construit pour les machines à vapeur, mais généralement moins dispendieux, parce que les accessoires des moteurs à gaz sont moins encombrants. L'absence du condenseur simplifie d'autre part le tracé des maçonneries.

L'établissement des moteurs à gaz dans les maisons privées impose, il est vrai, des précautions particulières.

Il convient d'employer des procédés spéciaux pour supprimer les vibrations que les moteurs installés en sous-sol pourraient imprimer aux bâtiments tout entiers, et qu'ils transmettent même souvent aux habitations voisines. Et d'abord, il est nécessaire que le massif de fondation du moteur soit absolument



indépendant des fondations de l'édifice; la stabilité sera obtenue par la masse propre, et non point par des liaisons rigides du bloc de maçonnerie servant de base au moteur. Tout au plus l'appuiera-t-on latéralement, en interposant entre ce bloc et les constructions des pièces de caoutchouc, de liège ou de toute autre substance élastique et compressible pouvant faire l'office d'un coussin amortisseur. A défaut de mieux, on pourrait quelquefois se contenter de cales de bois, quoique ce moyen d'isolation soit assez précaire.

Mais on ne peut pas toujours réaliser cette indépendance entre les fondations de l'édifice et le massif du moteur; il faut alors trouver un moyen d'empêcher les vibrations de la machine de se transmettre à sa maçonnerie de support. On y parvient en interposant directement entre le socle et le massif un matelas élastique, permettant de donner à la machine l'assiette dont elle a besoin et défendant néanmoins aux trépidations de se communiquer au sol. Ce matelas, serré fortement par les boulons de fondation, amortira les chocs et les vibrations tout en maintenant le moteur. Plusieurs substances élastiques conviennent à cet usage. Signalons toutefois plus particulièrement un tissu formé de fibres végétales, souples quoique résistantes, particulièrement imputrescibles, fabriqué à Paris par M. Lelorrain; c'est un véritable matelas, de 13 centimètres d'épaisseur, dont on réduit la hauteur de moitié par le serrage des boulons et qui constitue alors une base résistante et bien isolante; ce produit a été employé à la Belle Jardinière, sous des machines de 500 chevaux, et il y a donné des résultats très satisfaisants.

Le tissu Lelorrain est fait en fibres de coco; il forme des matelas de 6 à 7 centimètres d'épaisseur, qu'on superpose en les croisant. On les recouvre d'une double rangée de pièces de chêne, de 5 centimètres d'épaisseur chacune, disposées simplement l'une à côté de l'autre sans liaison d'aucune sorte; ces rangées sont aussi croisées l'une sur l'autre. On recouvre le tout d'une feuille de zinc rabattue, pour empêcher que les huiles et l'eau ne viennent imprégner le tissu; puis on serre à bloc le moteur sur le massif, de manière à réduire à six centimètres environ l'épaisseur des matelas. L'isolement sera parfait, si l'on prend des précautions analogues pour toutes les tuyauteries, et notamment pour les conduites de décharge, qui pourraient communiquer leurs vibrations à leurs supports. Pour empêcher la combustion de la fibre, on la recouvre encore d'une feuille de carton d'amiante.

MM. Anthoni et Prache, qui ont succédé à M. Lelorrain, appliquent d'autres procédés d'isolement, qui leur ont donné aussi de bons résultats. Ces ingénieurs ont réussi à amortir entièrement les trépidations des moteurs les plus bruyants, par une utilisation rationnelle des propriétés du caoutchouc, qui est le meilleur des ressorts (1), quand on sait l'employer dans les conditions voulues; pour cela,

1. Pour le caoutchouc, le rapport  $\frac{R^2}{E}$ , R étant le coefficient de résistance à la compression et E le coefficient d'élasticité, prend la valeur maximum.



il faut qu'il transmette au sol les pressions qu'il subit avec assez de lenteur pour ne point l'ébranler. Mais on doit se garer contre l'action dissolvante des huiles, ce qui est facile quand les appareils isolants ont la forme convenable ; d'autre part, il est nécessaire que le caoutchouc reste toujours froid.

Nombreuses ont été les installations faites de ce système ; citons spécialement les moteurs des journaux *les Débats* et *la Lanterne*. On sait que le fonctionnement de ces travailleurs nocturnes les expose fréquemment à des plaintes des voisins et que leur isolement présente par suite des difficultés toutes spéciales : elles ont été surmontées.

La trichopièse, de MM. Van de Castele et C<sup>te</sup>, à Gand, est aussi une substance que les inventeurs qualifient avec raison de « antivibrante », « antiaoustique et élastique ».

C'est un feutre de poils d'animaux et de crin, aseptisé en cours de fabrication pour être mis à l'abri des vers et de la pourriture humide. On a rapporté qu'une feuille de ce produit, ayant subi sur un décimètre carré une pression de dix tonnes, s'est aplatie d'un dixième et a repris, aussitôt allégée, son épaisseur primitive.

On perdrait le profit de ces dispositifs, si l'on ne fixait les conduites d'admission et de départ aux murs d'une façon élastique, à l'aide de brides, garnies à l'intérieur d'un revêtement d'amiante, empêchant la transmission des vibrations aux maçonneries.

Les moteurs commandent le plus souvent les transmissions par courroies ; celles-ci doivent procurer un entraînement satisfaisant, sans qu'on soit obligé de les tendre à l'excès, et surtout sans qu'il soit besoin de les enduire de produits résineux. Il faut pour cela que la distance des axes soit toujours telle que l'arc enveloppé sur la plus petite des poulies ne soit pas inférieur à 40 pour cent de la circonférence ; de plus, les brins de la courroie doivent se rapprocher autant que possible de l'horizontale. Il est bon que le brin menant soit en dessous. Pour ce qui est de la section

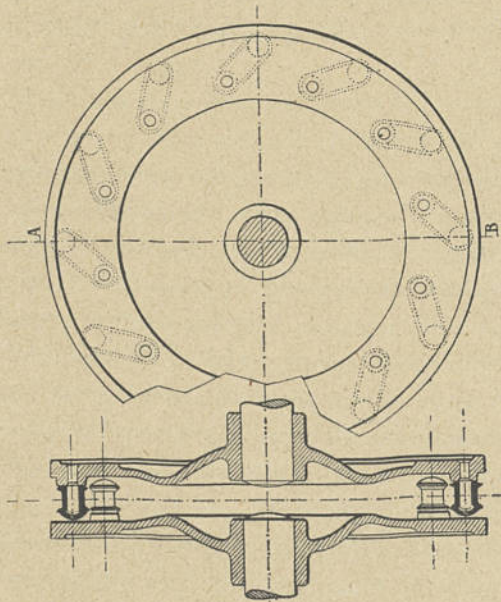


Fig. 366. — Accouplement Raffard.

du cuir, on indique souvent comme règle que la largeur doit être telle qu'il se développe une surface de dix décimètres carrés par cheval et par seconde. Ainsi, la vitesse linéaire étant par exemple de quinze mètres à la seconde, il faudra, pour transmettre dix chevaux, cent décimètres carrés de courroie



développée, ce qui conduit à une largeur de soixante-dix millimètres environ. Cette règle empirique est d'une application facile (1).

Il y a des circonstances dans lesquelles le moteur est connecté directement par son arbre de couche avec l'arbre de la machine qu'il est appelé à conduire.

M. Raffard a trouvé le moyen de faire cet accouplement par l'intermédiaire de liens élastiques, qui annulent les vibrations et les petits écarts périodiques de la vitesse des moteurs.

La forme la plus simple de cet accouplement est représentée par la figure 366

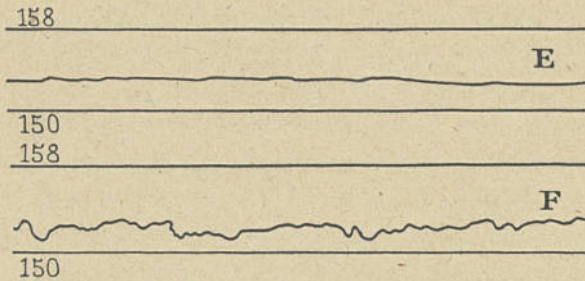


Fig. 367. — Diagramme de régularité Raffard.

ci-dessus. Les deux arbres, dont l'un doit entraîner l'autre, sont adossés par leurs abouts, leurs axes se prolongeant. L'arbre moteur et l'arbre conduit portent tous deux des poulies calées, sur lesquelles sont implantés des tourillons, rangés sur des circonférences d'inégal diamètre, de manière à ne pouvoir se rencontrer. Un anneau de caoutchouc relie chaque tourillon de la poulie entraînée; c'est par ces anneaux que se produit la solidarité des mouvements des deux arbres, avec l'élasticité que permet la nature des liens. Les avantages de ce mode de liaison sont évidents; on obtient ainsi une marche incomparablement plus douce et plus régulière.

Cet appareil a rendu beaucoup de services pour l'attaque directe des dynamos par moteurs.

Les courbes E et F (fig. 367) que j'ai relevées par l'appareil Otten, sur un moteur X Crossley, avant et après l'accouplement Raffard, permettront d'apprécier l'utilité de cet intermédiaire pour la commande des dynamos. Avant le Raffard, l'impulsion du coup moteur est nettement sensible, tandis qu'elle est entièrement effacée après le Raffard. La vitesse d'entraînement du papier était la même dans les deux cas, et égale à 6,3 millimètres par seconde. Ces deux courbes sont le meilleur argument à faire valoir en faveur du joint de M. Raffard.

1. On supplée au manque d'écartement entre les axes en faisant usage d'enrouleurs; un ou deux galets fous sont disposés contre la plus petite des poulies, pour obliger la courroie à envelopper une plus grande partie de la circonférence de cette poulie.



VII

CONDUITE DES MOTEURS

Nous croirions manquer aux promesses du titre de ce livre, qui se présente au lecteur comme un Traité théorique et pratique, si nous ne disions quelques mots de la meilleure manière de conduire les moteurs.

Nous nous bornerons à quelques considérations générales, très succinctes, dont on ne pourra contester l'utilité.

Il n'est pas nécessaire d'être mécanicien d'une habileté consommée pour bien conduire un moteur à gaz, mais ces machines ont besoin d'un homme actif, soigneux et vigilant, ayant l'œil à tout : nous reconnaissons, en effet, qu'il y a plus de choses à surveiller dans un moteur à gaz que dans une machine à vapeur, et que l'ouvrier qui en a la charge doit avoir plus d'initiative. Toutefois le portrait que nous venons de tracer du parfait conducteur de moteur à gaz correspond plutôt à l'idéal de l'espèce ; or, avec de la bonne volonté, on s'en rapproche aisément, et nous encouragerons les candidats à la fonction en disant que nous avons connu des valets de chambre et des jardiniers qui, après un apprentissage assez court, ont gouverné très bien des moteurs.

Quand il s'agit d'un moteur à gaz pauvre, le métier demande le savoir-faire d'un homme averti des difficultés que l'on rencontrera. Mais un conducteur de gazogène n'est pas un artiste comme l'est un chauffeur de chaudière à vapeur, et il a moins de part que celui-ci au bon rendement de l'appareil dont il a la surveillance. Sa besogne est plus complexe, mais moins délicate ; la consigne qu'il doit remplir comprend de plus nombreux articles mais elle est plus précise et exige moins d'initiative personnelle.

La mise à feu du gazogène s'effectue d'abord ainsi qu'il suit : après avoir nettoyé la grille et ouvert la cheminée du générateur, vérifié que le vaporisateur a de l'eau, on allume un feu de copeaux et on y ajoute progressivement du charbon, en faisant tourner le ventilateur sans interruption, jusqu'à ce que la flamme du robinet d'essai témoigne de la bonne qualité du gaz : la couleur de la flamme doit se teinter d'orange.

Allons au moteur. Si l'on marche au gaz de ville, il faut s'assurer de la venue du gaz par le gonflement des poches de caoutchouc et purger la canalisation de l'air qu'elle peut renfermer.

Nous donnons ci-après quelques indications utiles qui constituent l'ABC du métier.

Avant de mettre la machine en marche, passer en revue tous les organes ; en poussant le levier des soupapes, celles-ci doivent retomber vivement sur leur



siège ; le régulateur doit être libre. Vérifier que les graisseurs sont garnis d'huile et qu'ils ne sont pas bouchés. Si l'allumage se fait par incandescence, le brûleur Bunsen doit donner une flamme bleue ; il y aurait trop de gaz, si la flamme sortait par le bout de la cheminée ; trop peu de gaz ferait brûler le gaz en dedans de ce brûleur. Allumer dix minutes avant de tourner ; en mettant l'allumette, placer la main sur les ouïes du Bunsen. Pour un allumage électrique, il faut jeter un coup d'œil sur les divers organes qui feront jaillir l'étincelle dans le cylindre, s'assurer que les contacts sont bons, que le rupteur déclanche brusquement, etc. et régler le dispositif au retard.

Le moteur sera mis à la position de départ correspondante à la phase d'explosion, la manivelle étant inclinée d'environ 40 degrés vers le haut-arrière.

Tout cela étant fait, on peut marcher. Placez le galet du levier de décharge sur la came de moindre compression, ouvrez le robinet à gaz de la quantité reconnue nécessaire et indiquée par un repère sur le limbe de laiton, et puis faites tourner le volant. Gardez-vous de trop engager les bras dans les rayons du volant, méfiez-vous des saillies qu'il peut porter et n'y placez jamais le pied, pour produire son premier mouvement. Un bruit sec signale les premières explosions : après quelques bonnes impulsions, mettez la came de compression normale et réglez l'arrivée du gaz de manière à obtenir la vitesse de régime.

La mise en route est quelquefois rendue difficile, soit par manque de l'allumeur, soit par défaut de gaz ou par excès ; il faut savoir reconnaître la cause d'un insuccès. En allumage électrique, on a donné au départ un certain retard de mise de feu, qu'on corrige aussitôt que le moteur a pris sa vitesse.

Nous avons dit comment on effectue un départ à l'air comprimé et n'y reviendrons pas.

Fournissez d'abord peu d'eau à l'enveloppe du cylindre pour le laisser chauffer. En marche, les meilleures conditions de fonctionnement des moteurs à gaz de ville correspondent à une température de l'enveloppe telle qu'on ne puisse y appliquer la main ouverte, sans éprouver une sensation désagréable ; mais cela suppose une bonne huile de graissage, et une circulation bien établie autour des soupapes de distribution. Il est au contraire des moteurs pour lesquels on ne doit pas dépasser 50 à 60 degrés centigrades ; pour les très puissants moteurs, mieux vaut de se tenir à 40 degrés, par mesure de prudence et de sécurité.

Voilà le moteur en marche : on peut l'embrayer.

On a tout le temps maintenant de vérifier le fonctionnement du régulateur, de constater qu'aucun organe ne chauffe, paliers et bielle, que les graisseurs donnent de l'huile, sans excès, que l'eau de l'enveloppe du cylindre coule en quantité suffisante, que rien ne cogne, et le reste.

C'est une erreur d'inonder d'huile la machine et le cylindre ; il faut peu, mais de bonne huile, versée à propos. On pourrait exagérer le graissage accidentellement, si l'on voulait laver les surfaces et les débarrasser du cambouis, mais c'est un cas anormal, qui se présente fort rarement. Quelques conducteurs versent



de l'huile à la burette sur la partie du piston qui émerge du cylindre ; c'est une pratique dont il ne faut pas abuser, et dont nous ne voudrions même pas voir user en marche ordinaire.

Le moment d'arrêter étant venu, on donne le signal pour débrayer les métiers, on débraie la courroie du moteur, on ferme le robinet du gaz, ainsi que les graisseurs et l'on pousse la came à la position de décompression : enfin on ferme l'arrivée d'eau.

Si l'arrêt doit être prolongé, il sera bon de s'arranger de manière à ce que le piston s'arrête au point mort vers l'extrémité ouverte du cylindre ; on évitera ainsi de rayer le cylindre par les poussières qui s'y amassent.

Pour un arrêt de courte durée, mieux vaut mettre le vilebrequin dans la position correspondante à la phase de compression, parce qu'alors toutes les soupapes sont fermées, et qu'on sera dans une bonne position pour tourner au volant.

Les considérations qui suivent sont relatives aux meilleures conditions de marche des moteurs ; elles présentent une grande importance pratique.

Le réglage de l'admission du gaz ne peut être déterminé d'une manière absolue pour un moteur donné, car il dépend de la qualité du gaz, laquelle peut changer d'un jour à l'autre. Mais il est aisé de s'assurer qu'on fait un bon dosage du mélange, on observant la marche à vide du moteur : en effet, quand le mélange est ce qu'il faut, on obtient une explosion vive et, pour une vitesse donnée supérieure de deux ou trois tours à la vitesse de régime, le minimum d'admissions, donc le maximum de passages à vide, dans un moteur réglé par tout ou rien. Dans ces conditions, on consomme le minimum de gaz ; on peut le constater en suivant pendant cinq minutes les indications du compteur à gaz. Généralement un moteur bien conditionné fait à vide 15 % d'admissions ; en réglage à admission variable, quantitatif ou qualitatif, il consomme environ le sixième de ce qu'il doit dépenser à pleine charge.

Quand un moteur fait 92 à 94 % d'admissions, il est chargé au maximum et il est exposé à toutes les conséquences du surmenage : si ces conditions du travail doivent se prolonger quelque peu, il faut absolument refroidir le cylindre le plus qu'on le peut et surveiller la machine de très près. En charge normale, on doit compter sur 85 % d'admissions : le moteur garde ainsi une élasticité de régime grandement suffisante et il a de la marge pour se régler. Pour une machine à admission variable, le régulateur doit se tenir quelque peu au-dessous de sa position moyenne, de façon à ce qu'il reste une certaine latitude de réglage.

Un conducteur, qui a l'oreille faite aux bruits de son moteur, entend très bien les ratés d'allumage qui peuvent se produire pour une cause ou l'autre, le plus habituellement par un vice de l'appareil d'allumage ; les oscillations du régulateur constituent du reste un critérium d'une autre nature. Il faut aussitôt chercher à corriger ce défaut, car il a pour conséquence un abaissement



de puissance, une augmentation de consommation et une irrégularité de marche qu'on ne saurait tolérer. Ces ratés ont un autre effet, très désagréable à tous égards : les gaz non allumés, rejetés par la décharge, s'accumulent dans la poche et dans la conduite d'échappement et y explosent fréquemment aux coups suivants, soit parce que les gaz brûlés y mettent le feu, soit encore parce que la soupape de décharge n'est pas étanche. Ces détonations bruyantes effraient les voisins ; bien qu'elles ne soient pas dangereuses, il faut les éviter à tout prix. Un rodage de la soupape suffit quelquefois pour les supprimer. Mais nous avons dit ci-dessus qu'un mélange trop pauvre, et par suite inexplosible, produit les mêmes effets; cela se présente fréquemment dans les installations au gaz pauvre de gazogène ou de hauts fourneaux.

Si ces détonations se répétaient trop souvent au cours du travail, on priera le conducteur de soumettre le soir sa machine à une sérieuse visite, démonter les appareils d'allumage, pour les examiner, roder la soupape d'échappement sur son siège et vérifier la distribution de son moteur.

Ce dernier travail suppose la compétence d'un spécialiste.

Le réglage d'un moteur se fait par les diagrammes, sur lesquels sont marquées les pressions de compression et explosives, le régime de combustion et les courbes de détente, l'avance à l'échappement, les pressions de refoulement et les dépressions d'aspiration. Ces données se lisent directement sur le diagramme d'indicateur, et permettent au praticien de porter un premier jugement sur les conditions générales de fonctionnement du moteur. Toutefois on ne voit pas encore de la sorte avec une netteté suffisante comment s'effectuent les diverses opérations constitutives du cycle, et il convient de se servir d'un schéma de distribution tracé par la méthode de Muller. Ce procédé consiste à porter sur des circonférences correspondantes aux quatre temps du moteur les points d'ouverture et de fermeture des diverses soupapes. Tel est le tracé de la figure 368, qui correspond à une distribution normale.

Voici le sens des lettres du dessin :

|         |                             |
|---------|-----------------------------|
| OA..... | Ouverture de l'air.         |
| OG..... | — du gaz.                   |
| FA..... | Fermeture de l'air.         |
| FG..... | — du gaz.                   |
| OE..... | Ouverture de l'échappement. |
| FE..... | Fermeture —                 |

Une figure de ce genre se prête très simplement à une analyse complète du fonctionnement des divers organes de distribution : elle n'a pas besoin de commentaire.

La figure 369 est celle qui correspond à un balayage des produits.

C'est pour purger le cylindre des gaz brûlés qui le remplissent, qu'Atkinson a imaginé ce dispositif scavenging, dont nous avons discuté précédemment le principe. Or, dans quelques moteurs on s'en rapproche plus ou moins, et nous



reproduisons pour ce motif en cette place son schéma de réglage, en rappelant qu'il occasionne quelquefois des détonations dans le pot d'aspiration.

Après une marche prolongée, les cylindres s'ovalisent et il se produit des fuites au piston qui diminuent le rendement, surtout en diminuant la com-

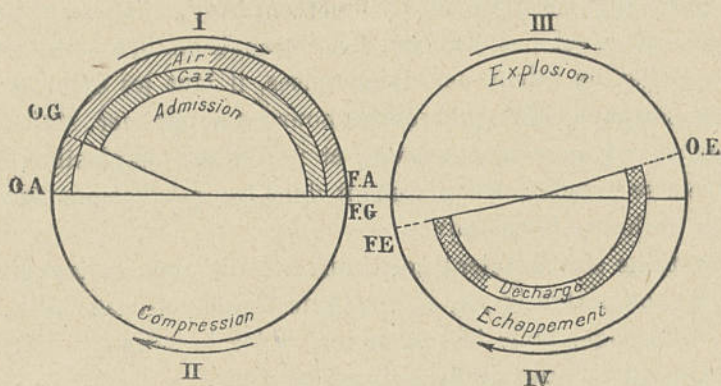


Fig. 368. — Schéma de distribution.

pression, et en donnant une courbe de détente fortement abaissée. On le constate sur les diagrammes. Rappelons à ce propos toutes les indications utiles que fournissent ces courbes. Une bonne combustion se marque par une forte pression explosive, une déflagration sous volume constant et par un diagramme pointu;

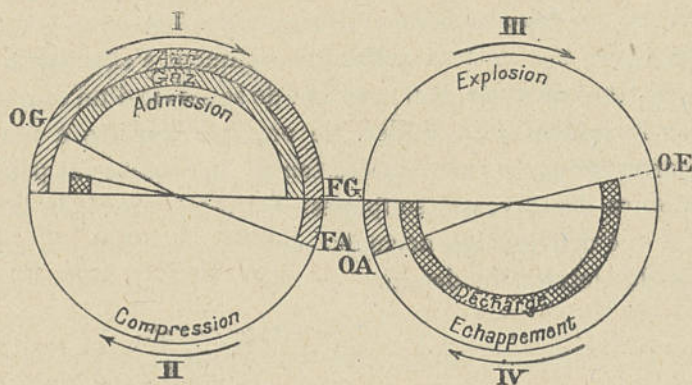


Fig. 369. — Schéma de Scavenging.

toutefois un diagramme trop pointu peut correspondre à un mélange trop riche et ne conduit pas toujours au meilleur rendement; un sommet très légèrement arrondi donne souvent une moindre consommation. Si l'on ne fournit pas assez de gaz ou trop d'air, c'est-à-dire si le mélange est trop pauvre, les courbes sont surbaissées et témoignent d'une combustion lente (le *nachbrennen* des Allemands) qui risque d'être incomplète; il faut l'éviter. On voit bien sur les diagrammes les ratés d'allumage. Un retard ou une avance d'allumage sont aussi faciles à reconnaître. Un diagramme maigre, sans ventre, allongé comme un ver, indique



souvent des fuites au piston ou bien aux soupapes : il coïncide avec une diminution de puissance. Une diminution de compression est un autre effet de la même cause. Un diagramme relevé avec un ressort faible permet d'analyser les phénomènes de compression, de contrepression, d'avance à l'échappement. Un enregistreur Mathot permet aussi très utilement de suivre les variations de ces données; à défaut de cet ingénieux instrument, on y suppléera en tirant à la main le cordon de l'indicateur de manière à relever, par des ordonnées parallèles, les pressions explosives consécutives et les compressions des passages à vide.

Les soupapes de décharge doivent être nettoyées tous les quinze jours; il faut les roder de temps en temps sur leur siège. Cette opération se fait à la potée d'émeri très fine et à l'huile; mais on doit avoir soin d'enlever ensuite toute trace d'émeri.

Le démontage des autres soupapes peut être moins fréquent : on en nettoiera les sièges avec grand soin au papier d'émeri le plus doux.

Les ressorts doivent être surveillés et renouvelés, s'ils ne rappellent plus suffisamment vite les soupapes.

Tous les deux à trois mois, un nettoyage du cylindre et du piston s'impose. Le piston étant tiré dehors, on enlèvera les cerceles, qu'on frotera au chiffon imprégné de pétrole, et qu'on graissera ensuite à la paraffine; on grattera les dépôts formés sur le fond et l'on débouchera les rainures ainsi que les trous de graissage.

En remontant la bielle, serrez à fond les contre-écrous du chapeau, qui empêchent tout desserrage spontané des boulons.

Les engrenages de l'arbre de distribution portent généralement un repère sur les dents qui doivent se correspondre.

Les pointes des bougies électriques d'allumage ne doivent pas être trop fines, ni trop grosses; des pointes émoussées donnent les meilleures étincelles.

Nous n'avons pas la prétention d'avoir tout dit sur ce sujet, qui est traité à fond dans des ouvrages spéciaux.

C'est à ces ouvrages spéciaux que nous renverrons surtout les chauffeurs, conducteurs des moteurs à essence montés sur les autos et les avions : il s'agit ici d'une technique particulière, tributaire assurément des considérations générales que nous avons formulées relativement aux moteurs à combustion interne de tout genre, mais qui emprunte à la constitution plus complexe de ces machines un caractère nouveau. Nous nous bornerons donc à quelques brèves remarques, qui nous paraissent présenter un intérêt général en dehors de leur application immédiate aux propulseurs des voitures et des aéroplanes.

Commençons par le coup d'œil du maître. Il s'assure que tout est au point et que rien ne manque : essence dans le réservoir, eau dans le radiateur, huile dans les graisseurs, etc.; puis il procède à l'examen des principaux organes. Quelques tours du moteur à blanc, produits à la main, fourniront des indications



utiles sur l'étanchéité du piston et des soupapes, sur la compression et l'échappement.

En découvrant la boîte à soupape, on peut se rendre compte de l'étanchéité de celle-ci : on la fait bien reposer sur son siège et l'on y verse de l'essence ; si l'essence passe, les gaz passent aussi. Quelquefois un rodage s'impose, à la potée d'émeri délayée dans du pétrole : le pourtour du siège prendra une teinte mate uniforme. Le fonctionnement des culbuteurs et des poussoirs est à contrôler : il faut un demi-millimètre de jeu entre l'extrémité de la tige de la soupape et son poussoir ; si la tige était trop longue, elle buterait contre celui-ci et ne reprendrait pas sa place sur son siège. Le jeu dont nous parlons doit être réglable. Trop de jeu sur la soupape d'admission fait naître un retard, d'où une cylindrée incomplète et une perte de puissance ; sur la soupape d'échappement un excès de jeu provoque moins d'avance à l'ouverture, plus d'avance à la fermeture, d'où échauffement, auto-allumage, diminution de travail, et le reste. Les ressorts trop durs et trop mous sont à remplacer : les premiers parce que, sur l'admission, ils provoquent aux vives allures une fermeture tardive ; sur l'échappement, ils peuvent se rouvrir en période d'aspiration ; mieux vaut qu'ils soient trop durs, si toutefois dureté n'implique pas fragilité. Quoi qu'il en soit, il faut veiller à ce que les tiges aient une certaine liberté dans leur guidage : si elles collent, c'est que l'huile brûlée paralyse leur mouvement, et alors il faut démonter et laver abondamment au pétrole. Un démontage des organes du moteur peut amener à un dérèglement, si l'on n'observe pas soigneusement les repères que portent les pignons de l'arbre à came : une erreur d'une dent peut être sensible. Reste à examiner l'allumage : la magnéto souffre beaucoup des projections d'huile et de boue, et elle demande à être nettoyée fréquemment ; un fil peut s'être brisé, et l'on s'en assure en tirant dessus... doucement ; il peut s'être dénudé par frottement et se trouver à la masse ; les pointes de la bougie ne doivent pas être écartées de plus d'un demi-millimètre et, si on ne les nettoie pas de temps en temps à l'essence, elles peuvent être mises en court-circuit, par interposition d'une concrétion charbonneuse. Le rupteur du primaire donnera des ratés, si les pointes de platine sont en mauvais état ou trop distantes. Surveiller les fils à haute tension du secondaire.

Le carburateur n'exige pas moins de surveillance. Malgré le filtre à essence dont il est muni, il est sujet à des obstructions de conduite ou de gicleur : même accident est à prévoir au pointeau. La toile métallique, qui tamise l'air à son entrée, est quelquefois obstruée par les poussières de la route. Il ne faut pas que l'essence soit mêlée d'eau. Un excès d'essence produirait un mauvais allumage et des longs feux. Les flotteurs se trouent quelquefois. Ils peuvent être trop lourds pour le carburateur employé : bons pour l'essence ou le benzol, ils seraient trop légers pour l'alcool.

Notre révision est terminée : faisons tourner le moteur à vide ; il n'oppose aucune résistance anormale, mais refuse de partir ! C'est que nous n'avons pas



tout vérifié, et il faut revoir le carburateur, l'allumage, les soupapes, la distribution. S'il est dur à tourner, c'est qu'il y a un organe qui colle, segments du piston ou soupapes : dans ce cas, la compression doit aussi être défectueuse.

Mais voici enfin le moteur en route : on part. Bien des anomalies peuvent se révéler encore. Il se produit de nombreux ratés, qui peuvent provenir de l'allumage, de la carburation ou des mécanismes eux-mêmes. Si le moteur cogne fort, c'est qu'on donne trop d'avance à l'allumage, ou bien qu'il y a des allumages prématurés par encrassement de la chambre d'explosion, ou encore qu'un jeu s'est produit dans les articulations. Un manque d'huile, qui peut conduire à un grippage, est une éventualité à prévoir : c'est le cas d'ouvrir l'oreille. Un piston qui menace de gripper prévient en effet le conducteur en faisant entendre un grincement, qu'on a comparé à un bruit de lime : qu'on s'empresse de donner de l'huile et de s'arrêter au plus vite. Sur la route, cela n'a pas de grands inconvénients ; dans les airs, cela pourrait conduire à des catastrophes. Un déplacement de l'axe du piston dans son logement peut aussi rayer profondément le cylindre : c'est dû le plus souvent à ce que la vis, qui assujettit cet axe dans le bossage du piston, s'est desserrée. Quelquefois elle tombe dans le carter, ce qui expose à des ruptures graves.

En ces quelques lignes, nous avons ébauché ce qu'on pourrait appeler le catéchisme du chauffeur ; les professionnels diront que nous ne leur avons rien appris. Les causes de pannes sont, en effet, innombrables ; le martyrologe des conducteurs de moteurs légers est long et douloureux ; nous avons du moins montré que nous sympathisons à leurs misères.

---



## CHAPITRE XX

---

### APPLICATIONS DES MOTEURS

---

Les applications des moteurs à gaz, à pétrole, à essence et à alcool sont innombrables.

Ces machines, entrées d'abord dans les petits ateliers, ont conquis lentement les plus grandes industries, où elles rendent des services signalés et où elles se font apprécier par l'économie qu'elles procurent.

Elles ont reçu les emplois les plus variés, et leur domaine embrasse aujourd'hui le vaste champ qu'animent et que vivifient les machines thermiques : leur puissance s'exerce sur les routes de terre et de mer et dans les airs ; elles sont plus ou moins concurrencées partout, mais règnent en aviation, sans rivales.

Ajoutons, pour achever ce brillant tableau, qu'elles utilisent tous les combustibles, dans les meilleures conditions, dues à la prééminence de leur rendement.

Nous allons les voir à l'œuvre dans toutes les branches de l'industrie, et ferons ressortir les services qu'elles ont rendus et qu'on peut encore attendre d'elles.

Ce n'est pas un panégyrique que j'entreprends de faire, mais une étude critique, basée sur des documents précis et sûrs.

Je suivrai les machines à combustion interne de tout genre et de toute alimentation, d'abord dans la petite, puis dans la grande industrie, ensuite dans quelques applications plus spéciales, pour finir en décrivant un certain nombre de types particuliers de machines, qui sont hors cadre.

#### 1. Moteurs de la petite industrie.

Le moteur à gaz est resté longtemps un moteur de la petite industrie : c'était sa situation et son rôle en 1886, ainsi qu'en témoigne un prospectus imprimé à cette époque par la Société des Constructions spéciales, concessionnaire en France des brevets Otto. Pour faire apprécier l'étendue et la variété des services que rendaient les machines à gaz, cette publication indiquait un



certain nombre d'industries se servant de moteurs, alimentés au gaz de ville ; ils étaient installés chez des couteliers, charcutiers, boulangers, menuisiers, fabricants d'eaux gazeuses, chez des dentistes, des lapidaires, des fondeurs en bronze, des imprimeurs, des confectionneurs en vêtements et en cordonnerie, etc. ; il faudrait épuiser la liste des divers corps de métiers pour énumérer toutes les applications qui étaient faites de ces machines, dont la puissance moyenne était de trois ou quatre chevaux, sans guère dépasser huit chevaux.

Des milliers de moteurs ont été vendus et montés dans ces conditions. En toute circonstance, ils ont donné pleine satisfaction aux acquéreurs. Comment pouvait-il en être autrement ? Ces moteurs se placent partout, aux étages aussi bien qu'aux sous-sols ; aucune fondation n'est nécessaire ; ils arrivent tout montés, et on les installe sans aucune autorisation de l'administration (1) ; il n'y a pas d'explosion à redouter ; pour les mettre en activité, il suffit de tourner un robinet, et cela, au moment voulu, à une heure quelconque de la journée ; ils n'exigent presque aucune surveillance. Une machine à vapeur au contraire est entravée de toute façon dans son application ; elle exige une chaudière, un fourneau, une cheminée, et tous leurs accessoires ; un ouvrier spécial doit venir allumer les feux tous les matins, au moins une heure à l'avance, et même deux heures, si la veille était un jour férié ; il faut gouverner le feu avec vigilance. L'ouvrier qui travaille en chambre ne peut pas employer la machine à vapeur ; il serait obligé de recourir à des hommes de peine, pour obtenir les quelques kilogrammètres que le petit moteur à gaz lui fournit à bas prix et avec une facilité remarquable.

Bref, les applications des moteurs à gaz sont si nombreuses et si variées, et leur emploi est si avantageux à tous égards, ils présentent de telles facilités d'installation et possèdent des qualités de robustesse si remarquables, qu'ils sont devenus par excellence les moteurs de la petite industrie.

C'est par eux qu'a été le mieux résolu l'intéressant problème de la distribution de l'énergie dans les villes et dans les groupements d'habitations qui forment, aux grandes cités, une vaste ceinture de faubourgs peuplés. Il suffit de se rattacher par un simple tuyau au réseau d'une usine pour lui emprunter la puissance motrice dont on a besoin, au moment et pour le temps qu'on en a l'utilisation.

Des concurrents ont surgi ; ils n'ont pu supplanter entièrement la canalisation de gaz combustible.

L'eau sous pression permet aussi le transport à distance et la distribution

1. Nous ne connaissons qu'une seule prescription administrative relative aux moteurs à gaz ; elle est formulée par l'article 18 d'un arrêté du préfet de la Seine, en date du 18 février 1862, dans les termes suivants : « Toute personne voulant employer du gaz pour mettre des machines en mouvement, ou voulant en faire usage d'une manière intermittente, devra isoler ses prises de gaz de la canalisation de la rue par un régulateur gazométrique dont les dimensions seront déterminées par l'administration.

D'autre part, sur avis du Comité consultatif des arts et manufactures de 1895, les moteurs à gaz ne sont pas considérés comme machines à feu, pour ce qui est du classement des usines dans lesquelles ils sont montés.



de l'énergie; mais elle exige des tuyauteries résistantes et coûteuses, et il y a lieu de tenir compte des pertes de charge, qui sont notables.

La plus grande objection qu'on élève contre les canalisations d'eau fortement comprimée est basée sur les pertes d'énergie éprouvées dans les canalisations; il est vrai qu'on peut les réduire en employant des tuyaux de grand diamètre. En effet, le calcul et l'expérience démontrent que la résistance varie en raison inverse de la cinquième puissance du diamètre; en doublant le diamètre, on rend par suite la résistance 2,5 fois, c'est-à-dire trente-deux fois moindre. Mais alors le prix de la tuyauterie s'élève outre mesure.

Une canalisation d'air comprimé s'établit plus facilement et l'air possède certainement des avantages sur l'eau. Le défaut des transmissions d'énergie par l'air est leur faible rendement; les compresseurs ne rendent que 70 %, les moteurs ne donnent guère que 60, et l'on perd environ 15 % dans des conduites de 5.000 mètres; en somme, il ne reste que 35 % d'utilisable. Toutefois, cet inconvénient est amplement racheté par les facilités d'emploi de l'air; le diamètre des conduites est plus faible que pour l'eau, les fuites n'ont pas de conséquences aussi graves, la distribution de l'énergie se fait à merveille et il n'y a pas à se préoccuper des conduites de retour. L'air qui s'échappe des moteurs contribue à la ventilation. En chauffant des aéromoteurs, on peut améliorer grandement leur rendement; en ne les réchauffant pas, on les utilise comme agents de réfrigération. Une puissante Société d'air comprimé avait été établie à Paris, en 1880, et elle a popularisé ce mode de distribution dont on a dit beaucoup de bien et tout autant de mal, et qui a finalement très médiocrement réussi.

MM. Petit et Boudenoot ont créé le système de l'air raréfié: au lieu de refouler de l'air sous pression dans une conduite, on y fait le vide à 66 %, et le moteur devient atmosphérique. Le procédé a sur le précédent un double avantage: les pertes de charge sont moindres dans les conduites d'aspiration que dans les tuyaux de compression, et les machines pneumatiques fonctionnent mieux que les compresseurs d'air. Mais la puissance d'un cheval est une limite difficile à franchir, et le prix de revient est supérieur dès qu'on aborde de plus grandes forces.

Tous ces distributeurs d'énergie étaient mis en échec par le gaz des usines, lorsqu'est entrée en scène l'électricité.

Que dirons-nous de l'électricité? Elle est bien le transmetteur d'énergie le plus souple et le plus maniable qui puisse se rencontrer, et elle permet une division extrême du travail. D'autre part, les dynamos sont des transformateurs d'énergie supérieurs à tous les autres; on construit des moteurs électriques fournissant des rendements industriels de 90 %, et l'on peut escompter 75 à 80 pour les moindres d'entre eux. Ce sont des appareils robustes, occupant peu de place, d'un prix peu élevé, d'un entretien aisé, d'une conduite extrêmement simple et facile.

On est obligé de reconnaître que le moteur à gaz de ville est au moins égalé



par cette remarquable machine électrique, à courant continu ou alternatif, qui est encore moins gênante et moins encombrante que lui, qui se met en route toute seule, tourne et s'arrête à volonté, par une simple manœuvre d'interrupteur, demande moins de surveillance et ne fait guère payer plus cher son travail que le moteur desservi par les canalisations d'une ville. Les puissantes sociétés, qui fabriquent et vendent le courant, s'efforcent d'ailleurs d'améliorer les conditions de leurs services et d'abaisser leurs prix; pour favoriser l'expansion des moteurs électriques, quelques-unes d'entre elles se chargent même de construire les branchements de raccord avec leurs canalisations, et elles fournissent les machines, les tableaux, les appareils d'observation et de mesure et les compteurs. D'autres font aux petits industriels l'avance des frais de cette installation : c'est ce qui s'est pratiqué notamment à Lyon, où la Société pour le développement du tissage de la soie prêtait à un taux modéré aux tisserands les sommes nécessaires à l'achat de métiers mécaniques commandés par moteur électrique. Le moteur à gaz est battu dans ces conditions.

Pour qu'il pût entrer en lice, il faudrait que le gaz fût vendu à bas prix.

Malheureusement, la fabrication du gaz dans les villes est entre les mains de sociétés qui sont grevées de charges écrasantes, et qui ont payé très cher leur monopole : elles sont obligées de majorer considérablement le prix du mètre cube pour réaliser des bénéfices, quelquefois assez maigres.

Il faudrait que du gaz de chauffage fût fabriqué librement et offert au public par des entreprises se faisant concurrence; de ce jour, les canalisations de gaz constitueraient sans doute une des solutions les plus élégantes et les plus économiques du problème de la distribution de l'énergie.

Le prix de revient du gaz ne dépasse guère en effet, en tenant compte de la récupération qui résulte de la vente des sous-produits, le cinquième ou le quart du prix tarifé officiellement; on fabriquerait un gaz spécial pour les moteurs, sans se préoccuper de son emploi pour l'éclairage; remarquons que son transport dans un rayon étendu ne coûterait pas très cher.

C'est ce qui ressort à l'évidence d'un travail publié en 1892 par M. Denny Lane, secrétaire de la Compagnie du gaz de Cork. Les chiffres, sur lesquels l'auteur de ce travail appuie ses conclusions, sont d'une rigoureuse exactitude; nous croyons utile d'en reproduire quelques-uns. M. Lane démontre que le transport de la quantité de gaz demandée pour développer 300 chevaux exigerait peu de frais. Et d'abord, le travail nécessaire pour refouler dans les conduites la quantité de gaz requise est minime, car il suffirait d'un dixième de cheval pour faire circuler 252 mètres cubes par heure dans une canalisation de 1.600 mètres de longueur; or, 252 mètres cubes donnent 300 chevaux par des moteurs consommant même 840 litres par cheval-heure. D'après les tables de Barrox, il suffirait d'une conduite de 152 millimètres de diamètre pour ce débit, sous une charge de 100 millimètres d'eau. Quel serait le prix d'une conduite



de ce genre? A l'époque où cette question était posée, on calculait les frais de la manière qui suit.

A raison de 123 francs la tonne de fonte, ce qui était alors considéré comme un prix fort, on estimait qu'une conduite de 152 millimètres coûterait 5 fr. 465 le mètre, soit 5.465 francs le kilomètre. Pour des joints tournés et alésés, le prix de pose sous rue pavée serait de 2 fr. 05 le mètre, soit 2.050 francs au kilomètre. La somme totale atteindrait donc 7.250 francs par kilomètre; l'intérêt à 5 % serait de 376 francs par mètre, ce qui fait 1 fr. 28 par cheval-an. Ce sont évidemment des prix d'avant-guerre, mais ils fournissent encore une base de comparaison, sinon d'appréciation.

Voici, d'autre part, quelques chiffres recueillis et commentés par M. Nelson Perry dans un curieux mémoire lu à l'*American Institute of Electrical Engineers* : d'après cet ingénieur, un tuyau de 0 m. 15 de diamètre pourrait débiter par heure 168 mètres cubes de gaz, sous une charge de 10 centimètres d'eau, à la distance de 3.200 mètres; on alimenterait donc aisément un moteur de 240 chevaux, consommant 700 litres à l'heure par cheval effectif. Or, une conduite de fonte de 15 centimètres ne pèse que 47 kgs 3 au mètre, soit pour 3.200 mètres un poids de 151 tonnes environ. M. Perry estimait que pour transmettre à cette distance la même quantité d'énergie électrique, il faudrait, pour une tension de 220 volts, 24.200 kilogrammes de cuivre, coûtant plus cher que le tuyau de fonte prévu par lui : il est vrai qu'on aurait recours aujourd'hui à une tension plus élevée, mais il y a néanmoins une indication à retenir de ce travail.

La discussion n'est du reste pas encore vidée et M. Dugald Clerk a de nouveau traité la question devant la Royal Society of Arts, en 1919 : il s'est efforcé de démontrer que, pour le transport de l'énergie et son utilisation sous sa forme calorifique et mécanique, le gaz est plus avantageux que l'électricité, celle-ci ne gardant un certain avantage que pour la production de la lumière. Il a argué surtout de ce que le rendement des machines à gaz serait double de celui des moteurs électriques, quand on part des calories du charbon employé aux usines génératrices. Cette thèse a été vivement combattue, mais elle est défendable (1).

Des considérations techniques et économiques de ce genre avaient décidé les créateurs de l'usine à gaz de Sucy-en-Brie, à établir un vaste réseau desservant Sucy, Boissy-Saint-Léger, Limeil, Brevannes, Bonneuil, Valenton, Ormesson et Chennevières; la canalisation atteignait 40 kilomètres. Le gaz était vendu au prix de 20 centimes le mètre cube, pour tous usages, avec tarif décroissant. Le fait de mettre le gaz à bas prix à la disposition des petits industriels, sur un long réseau suburbain, constitue encore aujourd'hui une solution brillante du grave problème de la décentralisation du travail, et de la constitution de l'atelier familial dans la maison même de l'ouvrier. Le moteur à gaz devient ainsi un puissant agent de bien-être et de moralisation.

1. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, septembre 1920.



Les ingénieurs anglais en paraissent plus convaincus que nous. Dans le South Staffordshire et dans la région de Birmingham, la Mond Gas Co a créé une vaste distribution de gaz pauvre, s'étendant sur une superficie de 320 kilomètres carrés; les canalisations principales du réseau mesuraient déjà, en 1913, près de 36 kilomètres de longueur. Une usine centrale, équipée en gazogènes Mond, dont la cuve avait 3 mètres de diamètre, gazéifiait par jour 22 tonnes de charbon gras; en récupérant les sous-produits : le gaz produit était assez riche pour qu'un bon moteur n'en consommât que 2 mètres cubes par cheval-heure effectif. On payait le mètre au prix de 0,7 centime. La production annuelle dépassait 170 millions de mètres. Le gaz était distribué sous une pression de 700 grammes par centimètre carré.

En France, en ces derniers temps, M. Métivier, abandonnant les anciennes méthodes de combustion de la houille et renonçant, a-t-on dit, aux routines du passé, a proposé de ne plus brûler le combustible dans des foyers, qui laissent perdre de précieux éléments, mais de les cokifier en recueillant tous les sous-produits de l'opération, notamment les gaz riches, auxquels se joindraient ceux de la gazéification du coke en gazogènes. Le rapport de cet ingénieur distingué a été présenté au Comité Général des Pétroles et Combustibles, qui l'a pris pour base d'un immense programme, auquel on ne pouvait reprocher que son excessive ampleur. Le résultat serait de créer des canalisations de gaz combustible, distribuant l'énergie dans les campagnes, pour l'alimentation d'appareils de chauffage et l'utilisation directe en moteurs (1).

Ce ne sont encore que des projets, mais ils sont réalisables. En attendant leur exécution, c'est le gaz monopolisé des villes qui est encore l'aliment prédestiné des machines de la petite industrie. Nous n'avons pas su l'employer en France aussi bien que cela se faisait en Angleterre et en Allemagne. La Compagnie parisienne du Gaz ne vendait que la trentième partie de sa fabrication pour la production de la puissance motrice : à Berlin, malgré la concurrence de l'électricité, on développait alors une dizaine de mille chevaux par moteurs au gaz de ville. En Angleterre, on comptait en certaines villes un moteur par trois cent soixante habitants; proportionnellement, Paris aurait dû en posséder plus de six mille dans l'enceinte de ses fortifications, banlieue non comprise.

C'est le gaz et l'électricité qui se disputent maintenant la clientèle des ouvriers en chambre et des petits ateliers. La vapeur n'y joue plus qu'un rôle effacé; les pétroles lourds et légers s'efforcent d'y prendre place; mais c'est l'électricité qui a le plus d'atouts dans son jeu.

Un grand nombre d'ingénieurs ont dressé des tableaux comparatifs du prix de revient du cheval-heure effectif pour les divers moteurs employés dans les petites usines. Ces calculs établis avec le plus grand soin sur des documents sérieux ne concordent pas souvent, et il ne peut en être autrement, étant donnés

1. Voir *le Génie civil*, 4 octobre 1919. — WITZ, *La crise du combustible et ses remèdes*, Paris, O. Doin, 1920. — WITZ, *Les Gazogènes et l'Economie du combustible*, Paris, J.-B. Baillièrre et fils, 1921.



les prix différents du gaz, de l'eau, de l'air comprimé, de l'électricité, de l'huile, de la main-d'œuvre, des frais de premier établissement, et les taux variables de l'intérêt et de l'amortissement qu'il convient d'adopter.

Nous n'avons pas la prétention d'être plus exact et plus vrai que nos collègues ; qu'on nous permette néanmoins de faire à notre tour un parallèle entre les divers petits moteurs.

Il est impossible au jour où sont écrites ces lignes, en 1922, d'estimer avec quelque certitude, le prix des divers facteurs qui interviennent dans l'évaluation du coût de la puissance motrice, lequel dépend de la valeur des machines, de l'agent générateur de l'énergie, des huiles et chiffons, et de la main-d'œuvre, en même temps que de la durée, du service et du coefficient d'utilisation. Les prix de 1914 ont été triplés en général : mais ils sont extrêmement variables, et l'on peut espérer qu'ils auront subi une notable réduction dans un avenir plus ou moins prochain. En concluons-nous qu'il faut renoncer à faire une estimation comparative? Nous ne le pensons pas, puisqu'il ne s'agit que d'une mise en parallèle. Prenons donc pour base de nos calculs les prix que l'on pratiquait au moment où la guerre s'est déchaînée, en déclarant formellement qu'il ne s'agit que de comparer d'une façon toute relative des prix de revient.

En conséquence, nous admettrons que le gaz de ville, pris au compteur, coûte quinze centimes le mètre cube ; c'était le prix de Lille et d'un certain nombre de grandes villes ; l'intérêt et l'amortissement des petits moteurs sera évalué en général à 15 %, mais nous le réduirons pour certaines machines à vapeur plus puissantes, soumises à une usure moins rapide et exigeant moins de réparations.

Le salaire d'un machiniste sera pris égal à cinq francs au moins ; mais il faut tenir compte de ce que la surveillance d'un petit moteur ne l'absorbe pas tout entier, et le chiffre variera suivant les cas.

L'année sera comptée de trois cents jours de travail et la journée de huit heures. Elle est en effet limitée à cette durée dans les petits ateliers auxquels s'appliquent les chiffres qui suivent.

Il est entendu qu'il s'agit de chevaux effectifs.

Nous alimenterons d'abord les moteurs de gaz de ville.

PUISSANCE : 1 CHEVAL

MOTEUR A GAZ DE 1 CHEVAL

|   |                      |
|---|----------------------|
| Prix du moteur.....   | 1.200 francs.        |
| Emballage, pose, accessoires, etc.....                                  | 250 —                |
| <b>TOTAL.....</b>   | <b>1.450 francs.</b> |
| Entretien, intérêt et amortissement : 217 fr. 50 par an.                |                      |
| Entretien, intérêt et amortissement.....                                | 0 fr. 73 par jour.   |
| Surveillance et graissage.....  | 1 75 —               |
| Gaz : 1.000 litres par heure ; 8 mètres cubes par jour, à 0 fr. 15..... | 1 20 —               |
| <b>TOTAL PAR JOUR.....</b>  | <b>3 fr. 68</b>      |
| Par cheval-heure : 0 fr. 47.  |                      |



**MOTEUR A AIR RARÉFIÉ DE 1 CHEVAL**

Prix à l'heure, tout compris comme ci-dessus, à forfait..... 0 fr. 50

**MOTEUR ÉLECTRIQUE DE 1 CHEVAL**

Pour disposer d'un cheval sur l'arbre d'un moteur électrique dont le rendement peut être égal à 80 %, il faut développer, non pas 736 wats, mais  $\frac{736}{0,8} = 920$  wats.

Nous admettrons que le kilowatt-heure est payé 0 fr. 40.

Prix du moteur placé : 800 francs.

Entretien, intérêt et amortissement : 120 francs par an.

|   |                    |
|---|--------------------|
| Entretien, intérêt et amortissement.....                            | 0 fr. 40 par jour. |
| Surveillance et graissage.....                                      | 0 30 —             |
| Électricité : 920 wats; 7,36 kilowatts-heures par jour, à 0 fr. 40. | 2 95 —             |

TOTAL PAR JOUR..... 3 fr. 65

Par cheval-heure : 0 fr. 46.

**PUISSANCE : 2 CHEVAUX**

**MOTEUR A GAZ DE 2 CHEVAUX**

Prix du moteur complet..... 1.600 francs.

Emballage, pose, etc..... 250 —

TOTAL..... 1.850 francs.

Entretien, intérêt et amortissement : 277 fr. 50 par an.

|  |                    |
|--|--------------------|
| Entretien, intérêt et amortissement.....                               | 0 fr. 93 par jour. |
| Surveillance, eau, graissage.....                                      | 2 » —              |
| Gaz : 1.500 litres par heure, 12 mètres cubes par jour, à 0 fr. 15.... | 1 80 —             |

TOTAL PAR JOUR..... 4 fr. 73

Par cheval-heure : 0 fr. 30.

**MOTEUR A ESSENCE DE 2 CHEVAUX**

Prix du moteur et du carburateur..... 2.000 francs.

Emballage, pose, etc..... 250 —

TOTAL..... 2.250 francs.

Entretien, intérêt et amortissement : 337 fr. 50 par an.

|   |                    |
|---|--------------------|
| Entretien, intérêt et amortissement.....                      | 1 fr. 13 par jour. |
| Surveillance, eau, graissage.....                             | 2 » —              |
| Gazoline : 0 l. 8 par heure; 6 l. 4 par jour, à 0 fr. 50..... | 3 20 —             |

TOTAL PAR JOUR..... 6 fr. 33

Par cheval-heure : 0 fr. 40.

**MOTEUR A EAU DE 2 CHEVAUX**

Nous pourrions employer un moteur Schmidt, qui est un des meilleurs du genre.

Le moteur Schmidt est composé d'un cylindre oscillant faisant lui-même tiroir; d'après le professeur Kronauer de Zurich, il donne 89 % du travail théorique. Le type de 2 chevaux a un diamètre de 100 millimètres, une course de 130 et une vitesse de 170 tours environ.

Prix de la machine complète..... 750 francs.

Emballage, pose, etc..... 60 —

TOTAL..... 810 francs.

Pour ces moteurs, 10 % suffisent à l'entretien, à l'amortissement et aux intérêts du capital engagé, soit, de ce chef, 81 francs par an et.... 0 fr. 27 par jour.

Surveillance, etc..... 0 50 —

Eau, sous charge de 30 mètres : 168 mètres cubes par jour, à 0 fr. 10 le mètre cube..... 16 80 —

TOTAL PAR JOUR..... 17 fr. 57

Par cheval-heure : 1 fr. 10.



MOTEUR ÉLECTRIQUE DE 2 CHEVAUX

|   |                    |
|---|--------------------|
| Prix du moteur placé.....   | 1.150 francs.      |
| Entretien, intérêt et amortissement : 172 fr. 50 par an.          |                    |
| Entretien, intérêt et amortissement.....                          | 0 fr. 58 par jour. |
| Surveillance et graissage.....                                    | 0 40 —             |
| Électricité : 1.840 watts, 14,72 kilowatts-heures à 0 fr. 40..... | 5 89 —             |
| <b>TOTAL PAR JOUR.....</b>  | <b>6 fr. 87</b>    |
| Par cheval-heure : 0 fr. 43.                                      |                    |

PUISSANCE : 4 CHEVAUX

MOTEUR A GAZ DE 4 CHEVAUX

|  |                    |
|--|--------------------|
| Prix du moteur complet.....  | 2.500 francs.      |
| Emballage, pose, accessoires divers.....                                 | 500 —              |
| <b>TOTAL.....</b>  | <b>3.000 —</b>     |
| Entretien, intérêt et amortissement : 450 francs par an.                 |                    |
| Entretien, intérêt et amortissement.....                                 | 1 fr. 50 par jour. |
| Surveillance, eau, graissage.....  | 3 » —              |
| Gaz : 2.700 litres par heure, 21,6 mètres cubes par jour, à 0 fr. 15.... | 3 24 —             |
| <b>TOTAL PAR JOUR.....</b>   | <b>7 fr. 74</b>    |
| Par cheval-heure : 0 fr. 24.   |                    |

MOTEUR ÉLECTRIQUE DE 4 CHEVAUX

|   |                    |
|---|--------------------|
| Prix du moteur placé.....   | 1.500 francs.      |
| Entretien, intérêt et amortissement : 225 francs par an.                |                    |
| Entretien, intérêt et amortissement quotidien.....                      | 0 fr. 75 par jour. |
| Surveillance et graissage.....  | 0 60 —             |
| Électricité : 3.590 watts, 28,72 kilowatts-heures par jour, à 0 fr. 35. | 10 » —             |
| <b>TOTAL PAR JOUR.....</b>  | <b>11 fr. 35</b>   |
| Par cheval-heure : 0 fr. 35.  |                    |

Le rendement du moteur a été pris égal à 82 % et le prix du kilowatt-heure abaissé à 0 fr. 35.

Il ressort de ces calculs que le moteur à gaz de ville est, pour la production des forces motrices inférieures ou égales à 4 chevaux, un agent qui ne le cède en rien à aucune machine, au point de vue économique; la régularité de sa marche, la facilité de sa conduite et de son entretien et les conditions remarquables dans lesquelles se fait son installation, le mettent du reste au-dessus de la plupart de ses concurrents.

Au prix de 0 fr. 35 le kilowatt-heure, le moteur électrique est moins avantageux que lui, si l'on ne s'arrête qu'à la question d'argent.

Pour les faibles puissances envisagées, il ne saurait être question d'employer la vapeur, dont nous ne considérons pas d'utilisation rationnelle avant vingt-cinq chevaux, en machine demi-fixe; à cette puissance, en pratiquant la condensation, la vapeur est plus économique que le gaz de ville à quinze centimes le mètre cube, ainsi que le prouve le calcul ci-dessous.



MOTEUR A GAZ DE 25 CHEVAUX

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| Prix du moteur complet..... | 8.500 francs.  |
| Emballage, pose, etc.....   | 1.500 —        |
| TOTAL.....                  | 10.000 francs. |

Entretien, intérêt et amortissement : 1.500 francs par an.

|  |                   |
|--|-------------------|
| Entretien, intérêt et amortissement.....         | 5 fr. » par jour. |
| Surveillance, eau, graissage.....                | 6 » —             |
| Gaz : 120 mètres cubes par jour, à 0 fr. 15..... | 18 » —            |
| TOTAL PAR JOUR.....                              | 29 fr. »          |

Par cheval-heure : 0 fr. 140.

MACHINE A VAPEUR DE 25 CHEVAUX, A CONDENSATION

|   |                |
|---|----------------|
| Prix d'une chaudière.....                 | 3.400 francs.  |
| — de la machine avec son condenseur.....  | 7.000 —        |
| Emballage, pose, etc., cheminée, etc..... | 3.800 —        |
| TOTAL.....                                | 14.200 francs. |

Entretien, intérêt et amortissement à 12 % : 1.704 francs par an.

|   |                    |
|---|--------------------|
| Entretien, intérêt et amortissement.....  | 5 fr. 68 par jour. |
| Surveillance, eau, graissage.....   | 6 » —              |
| Charbon : 400 kilogrammes par jour, à 20 francs la tonne (allumage<br>compris)..... | 8 » —              |
| TOTAL PAR JOUR.....   | 19 fr. 68          |

Par cheval-heure : 0 fr. 098.

C'est le prix du gaz de ville qui écrase le moteur dans ce cas, puisque le prix de ce gaz monte à dix-huit francs par jour contre huit francs que coûte le charbon.

Un industriel qui fabriquerait son gaz, de même qu'il fabrique sa vapeur, produirait, il est vrai, de la puissance motrice dans des conditions fort différentes de celles que nous avons étudiées ci-dessus. Pour preuve, nous citerons l'exemple de la raffinerie de sucre Pfeifer et Langen, à Elsdorff ; deux moteurs Otto de soixante chevaux y sont alimentés par du gaz de houille produit dans l'usine même ; or, voici le bilan de cette fabrication, du 1<sup>er</sup> août 1887 au 31 juillet 1888.

DÉPENSES

|   |                |
|---|----------------|
| Charbon : 3.130 tonnes à 12 francs.....                 | 37.560 francs. |
| Main-d'œuvre.....                                       | 6.076 —        |
| Matières d'épuration et divers.....                     | 2.471 —        |
| Amortissement à 10 % d'un capital de 43.800 francs..... | 4.380 —        |
| Intérêts à 6 % du même.....                             | 2.628 —        |
|   | 53.115 francs. |

PRODUITS

|  |                |
|--|----------------|
| 1.690 tonnes de coke à 12 francs.....    | 20.280 francs. |
| 152.000 kilogrammes de goudron.....      | 3.702 —        |
| 220.000 — d'eaux ammoniacales.....       | 836 —          |
| 10 — de matières d'épuration revendues.. | 75 —           |
|  | 24.893 francs. |



Production de gaz : 867.974 mètres cubes.

Prix de revient du mètre cube : 3 cent. 25.

C'est le cinquième environ de ce qu'on aurait à payer à une usine à gaz.

Mais cette solution du problème n'est pas à la portée de tous : il y a d'ailleurs mieux à faire.

Pour alimenter de puissants moteurs à gaz, ce n'est pas du gaz d'éclairage qu'il faut employer, mais bien des gaz pauvres de gazogène, ainsi que nous allons le faire voir.

Mais d'abord nous tenons à présenter encore au lecteur une importante observation rétrospective.

Nous avons admis qu'un moteur d'un cheval consommait 1.000 litres par cheval-heure effectif ; pour le moteur à deux chevaux, nous avons pris 750 litres, 680 pour quatre chevaux et au-dessus. Or, en essais, on obtient le cheval-heure effectif par une quantité de gaz beaucoup moindre : pourquoi donc avoir forcé les chiffres de la sorte ?

Nous les avons majorés pour diverses raisons de prudence, et les plus chauds partisans des moteurs à gaz ne nous en blâmeront pas, parce que nos conclusions sont ainsi d'autant mieux justifiées : cet argument suffirait à lui seul. Mais en voici un autre, non moins important. La consommation des moteurs croît assez rapidement quand on la rapporte à l'unité de puissance, aussitôt que la charge de la machine devient inférieure à sa charge nominale : comme on ne saurait espérer qu'un moteur eût toujours sa charge pleine, il était nécessaire de relever dans une certaine mesure les consommations obtenues en essais.

Ceci nous amène à insister sur ce qu'il y a d'irrationnel à choisir un moteur d'une puissance notablement plus grande que celle dont on a besoin. Il vous faut le travail d'un cheval ? Achetez un moteur d'un cheval, faites-vous donner des garanties, et repoussez comme une tentation les offres d'un agent intéressé, désireux de placer une machine d'un modèle plus fort ; il cherchera à vous séduire, en vous affirmant que le rendement pratique augmente avec les dimensions du moteur ; c'est le plus souvent exact, mais cette proposition, vraie en thèse générale, est devenue fausse dans votre cas particulier, et ce n'est plus qu'un sophisme. Un négociant ne se laisserait pas tromper, si on l'invitait à acheter plus de marchandises qu'il ne saurait en écouler dans sa clientèle, sous le fallacieux prétexte de le faire bénéficier d'une légère réduction sur le prix de l'unité !

Signalons enfin une erreur d'appréciation que l'on commet quelquefois relativement aux moteurs de grandes dimensions : il n'en est pas du moteur à gaz comme d'une machine à vapeur. Dans cette dernière, le rendement s'améliore beaucoup quand ses dimensions augmentent : une machine de dix chevaux consomme de douze à seize kilogrammes de vapeur saturée, par cheval-heure effectif, alors qu'une machine de cinquante chevaux n'en exige plus que huit



à dix. On devrait donc aussi réaliser une économie notable en employant des moteurs à gaz monocylindriques de plus grande puissance; malheureusement le bénéfice est moindre qu'on ne pourrait le croire, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer précédemment.

Nous arrivons maintenant aux moteurs à gaz pauvres, et calculons le prix de revient du cheval-heure en employant un gazogène par aspiration.

MOTEUR-GAZOGÈNE DE 25 CHEVAUX

|  |                  |                |
|--|------------------|----------------|
| Prix du moteur complet.....  | 8.800            | francs.        |
| Gazogène à aspiration et tuyauteries.....  | 2.600            | —              |
| Emballage, pose, etc.....  | 2.200            | —              |
| <b>TOTAL.....</b>  | <b>13.600</b>    | <b>francs.</b> |
| Entretien, intérêt, amortissement : 1.940 francs par an.   |                  |                |
| Entretien, intérêt et amortissement.....   | 6 fr. 50         | par jour.      |
| Surveillance, eau, terres réfractaires, graissage.....   | 7                | » —            |
| Anthracite : 800 grammes par cheval-heure (allumage compris),<br>160 kilogrammes par jour, à 32 francs la tonne..... | 5 12             | —              |
| <b>TOTAL PAR JOUR.....</b>   | <b>18 fr. 62</b> |                |
| Par cheval-heure : 0 fr. 079.  |                  |                |

La vapeur faisait ressortir ce même travail à 0 fr. 093.

Le gaz pauvre fait donc gagner cinq millimes par cheval-heure effectif; la différence est faible, elle se chiffre néanmoins par 375 francs par an. Mais elle est suffisante pour qu'on ne puisse l'attribuer à une erreur d'estimation des éléments de la question. Nous consentons d'ailleurs à n'en pas tenir compte; nous avons déjà négligé le bénéfice résultant du moindre encombrement de l'installation du moteur à gaz et du gazogène à aspiration, relativement à la machine à vapeur, qui exige chaudière et cheminée, voire même condenseur.

Il ne s'est encore agi que de vingt-cinq chevaux: nous constaterons des bénéfices plus substantiels aux puissances supérieures, dont la consommation est moindre par unité de travail.

Les moteurs à pétrole lourd, du type semi-Diesel, trouvent de fréquentes applications dans les ateliers de petite importance auxquels se rapporte l'étude précédente. En les alimentant de mazout, valant (avant-guerre) au plus 12 francs les 100 kilogrammes, dont la consommation par cheval-heure effectif peut être réduite à 250 grammes, on arrive à un prix total de revient du cheval-heure voisin de 0 fr. 09 pour une machine de 25 chevaux. Ce prix est un peu plus élevé que celui que nous avons calculé pour le moteur à gaz pauvre: mais l'infime différence que nous constatons est négligeable en regard des avantages multiples que présente un semi-Diesel sur une machine qui exige un gazogène et une manipulation de combustible. Il ne faut donc pas s'étonner du succès de ces remarquables petits moteurs, qui possèdent la précieuse qualité de bien s'accommoder des combustibles liquides les plus divers.

Des essais récents effectués sur un semi-Diesel Bollinckx, de 65 chevaux,



ont donné les résultats ci-dessous avec des huiles de nature et qualité très différentes, qui témoignent de la facilité d'adaptation de ce type à combustion avec compression réduite :

| HUILES                 | DENSITÉ | POUVOIR<br>INFÉRIEUR | CONSOMMATION<br>par ch.-h. effectif | RENDEMENT<br>THERMIQUE |
|------------------------|---------|----------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Gas-Oil-Petroleum..... | 0,86    | 9.880 calories.      | 203 grammes.                        | 31,75 %                |
| Mazout.....            | 0,91    | 9.935 —              | 193 —                               | 33,14                  |
| Huile de ricin.....    | 0,96    | 8.870 —              | 250 —                               | 28,7                   |
| — palme.....           | 0,91    | 9.380 —              | 232 —                               | 29,18                  |

En somme, les moteurs à gaz de ville et à gaz pauvre, à essence et à pétrole, se partagent les petits établissements dont la puissance motrice ne dépasse pas 25 chevaux : mais le moteur électrique leur ferait une terrible concurrence, si le prix du kilowatt-heure était suffisamment abaissé.

## 2. Moteurs de la moyenne et grande industrie.

En 1886, j'avais la hardiesse de mettre en parallèle un moteur Otto à deux cylindres, d'une puissance de 40 chevaux effectifs, alimenté de gaz Dowson, avec une machine à vapeur de même puissance, monocylindrique du meilleur type : le cheval-heure effectif revenait alors à 8 centimes, par la vapeur, avec du charbon à 20 francs la tonne, et j'estimais timidement son prix à 7 centimes par le gaz pauvre, fabriqué avec de l'anthracite à 30 francs ; ces prix tenaient compte de l'intérêt et de l'amortissement du capital, et de tous les frais de conduite et d'entretien. J'osais conclure par ces mots, que je me plais à me rappeler, et dont je souris moi-même aujourd'hui : « Le moteur à gaz est donc un concurrent sérieux de la machine à vapeur, et j'estime qu'il doit être vengé des dédains de certains praticiens. » Les praticiens auxquels je faisais alors allusion ne sont plus : ils avaient le tort grave à mes yeux de traiter le petit moteur à gaz de ville, le moteur des charcutiers, des couteliers, etc., de quantité négligeable, et de considérer comme des illuminés ceux qui parlaient de lui faire concurrencer un jour la vapeur. Et pourtant, nos prévisions se sont réalisées et nos espérances ont même été dépassées, puisque nous pourrions montrer aujourd'hui à ces incrédules de la première heure, s'ils vivaient encore, des moteurs à gaz de 6.000 chevaux, de 8.000 et même plus.

Mais procédons avec ordre et méthode, et considérons d'abord les puissances motrices de 100 chevaux, avec lesquelles nous entrons dans la moyenne industrie : l'économie incontestable, mais faible encore, que nous avons trouvée à 25 chevaux, va devenir beaucoup plus marquée au fur et à mesure que les machines croîtront en taille, au moins dans une certaine mesure et jusqu'à une certaine limite. Toutefois, il ne faut pas exagérer les choses et l'on doit se garder



d'affirmations extravagantes, qui ne sont autre chose que du bluff : telle est la bruyante réclame, affichée un jour sur tous les murs, dans les haltes du Métro et dans toutes les gares de France, et reproduite à la quatrième page des journaux : *le cheval-heure à un centime ; 80 % d'économie sur la vapeur*, etc. Ces exagérations insensées constituent un abus de la confiance du public. Pourquoi donc ne pas se contenter de proclamer, ce qui est vrai, qu'aucun moteur thermique ne peut lutter contre le moteur à gaz pauvre, fabriqué avec des charbons anthraciteux du pays, dans des gazogènes soufflés ou aspirés, et surtout dans ces derniers, et qu'aucun autre moteur ne possède un rendement thermique qui lui soit supérieur? Cette affirmation ne peut être mise en doute; aucune machine à vapeur, de n'importe quelle puissance, n'a jamais donné le cheval-heure *effectif* par moins de 350 grammes de charbon : or, de nombreux essais de moteurs ont témoigné de ce chiffre. Il est vrai que ces résultats sont obtenus avec des charbons spéciaux, toujours criblés et dépoussiérés, généralement lavés, d'un prix plus élevé que les charbons menus brûlés sur les grilles des chaudières; que souvent on opère un décompte des cendres et des scories retirées de la cuve; que jamais on ne tient compte des fines formées dans la manutention des charbons; que ces chiffres sont ceux qui ont été recueillis au cours d'expériences très soignées. Tout cela est exact; mais ne juge-t-on pas les machines à vapeur d'après des essais du même genre? Compte-t-on à leur passif la grande quantité de charbon d'allumage? Ne généralise-t-on pas quelques résultats particuliers, et ne les exagère-t-on pas? Les demi-fixes Wolff de Magdebourg, du modèle compound, à vapeur hautement surchauffée, à condensation, qui détiennent le record de la consommation des machines à vapeur de moyenne puissance, ont consommé, dans des expériences qu'on rappelle souvent, 592 grammes par cheval-heure effectif de charbon à 7.523 calories, pour une puissance de 300 chevaux : or, cela fait 3.454 calories, au lieu de 3.000, que l'on relève fréquemment en gaz pauvres. Je sais bien qu'en pratiquant l'énorme surchauffe de 430 degrés, on a réussi à abaisser la consommation de charbon à 358 grammes, dans des essais effectués le 21 janvier 1910, sur une machine de 138 chevaux; la dépense de vapeur ne dépassait pas 3 k. 21 par cheval-heure effectif. Ces résultats surprenants mettraient donc de pair les demi-fixes allemandes avec les moteurs-gazogènes : il faut le reconnaître sans jalousie et s'en applaudir. Mais ce sont des résultats tout à fait exceptionnels, que l'on n'obtient pas couramment et qui ne durent pas toujours.

Il était nécessaire de dire ces choses avant de comparer une machine à vapeur de 100 chevaux avec un moteur à gaz pauvre de même puissance, en faisant état, comme ci-dessus, de tous les éléments qui interviennent dans le prix du cheval-heure. Nous allons voir que les frais d'établissement, l'intérêt et l'amortissement du capital, les dépenses de graissage, de surveillance et d'entretien, etc., sont à peu près les mêmes pour les deux types de machines mis en parallèle, de telle sorte que c'est la consommation du combustible et



le prix de ce combustible qui prennent la plus grande importance économique dans l'espèce.

Voici les calculs complets pour une installation de 100 chevaux.

FRAIS DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

1° *Machine à vapeur monocylindrique à condensation*  
(montage compris).

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Chaudière à vapeur, de 80 mètres de surface de chauffe, avec garniture complète..... | 10.000 francs.        |
| Maçonneries de la chaudière.....   | 2.000 —               |
| Cheval alimentaire et injecteur.....   | 1.000 —               |
| Machine à vapeur (D = 600 mm. C = 1 m. 200. N = 60).....                             | 21.000 —              |
| Ses fondations.....  | 1.600 —               |
| Tuyauterie, etc.; montage.....   | 4.500 —               |
| Bâtiments couvrant 120 mètres carrés et terrain.....                                 | 10.000 —              |
| Cheminée.....  | 3.000 —               |
| <b>TOTAL.....</b>  | <b>53.100 francs.</b> |

Pour tenir compte de l'imprévu, arrondissons la somme à 53.500 francs.

2° *Moteur à gaz alimenté de gaz pauvre*  
(montage compris).

|   |                       |
|---|-----------------------|
| Gazogène débitant 300 mètres cubes à l'heure avec exhausteur, scrubber, épurateur, etc..... | 18.000 francs.        |
| Moteur à gaz (D = 500 mm. C = 0 m. 700. N = 160).....                                       | 20.000 —              |
| Tuyauteries diverses et montage.....  | 4.000 —               |
| Maçonneries et fondations.....  | 1.800 —               |
| Bâtiments couvrant 110 mètres carrés et terrain.....  | 10.000 —              |
| <b>TOTAL.....</b>   | <b>53.800 francs.</b> |

Soit, en chiffres ronds, un capital de 54.500 francs, soit 1.000 francs de plus que ci-dessus.

On voit que nous ne voulons favoriser d'aucune façon le moteur à gaz.

Nous estimerons à 1.200 grammes la consommation par cheval-heure effectif de la machine à vapeur, et à 500 grammes celle du moteur, allumage compris, en admettant un fonctionnement à pleine charge : pour la chaudière, il suffit d'un tout-venant ordinaire à 20 francs, alors que le gazogène exige un charbon anthraciteux criblé, que nous coterons à 28 francs. Par suite de la loi de huit heures on ne peut plus compter que sur 2.400 heures de travail annuel.

L'avantage est marqué en faveur du gaz pauvre, et pourtant nous n'avons rien fait pour faire pencher la balance de son côté : l'amortissement du matériel à vapeur a été estimé à 7 % alors que nous prenons 10 pour le gaz ; les prix mêmes de ce matériel ont été réduits au minimum pour la cheminée et les bâtiments.



*Prix de revient du cheval-heure effectif pour 2.400 heures de travail annuel.*

|   | MACHINE<br>A VAPEUR      | MOTEUR<br>A GAZ PAUVRE |
|---|--------------------------|------------------------|
| A. — <i>Frais généraux et service.</i>                  |                          |                        |
|   | francs                   | francs                 |
| Intérêts à 5 % du capital de premier établissement..... | 2.675                    | 2.725                  |
| Amortissement.....                                      | 2.583                    | »                      |
| Personnel.....  | 332                      | 3.270                  |
| Huiles et graisses.....                                 | 3.000                    | 336                    |
| Entretien et réparations.....                           | 900                      | 3.000                  |
|   | 750                      | 1.050                  |
|   | 1.500                    |                        |
| <b>TOTAL.....</b>                                       | <b>10.240</b>            | <b>11.881</b>          |
| B. — <i>Combustible.</i>                                |                          |                        |
| 288 tonnes de charbon à 20 francs la tonne.....         | 5.760                    | »                      |
| 110 — maigre à 28 francs la tonne.....                  | »                        | 3.080                  |
| <b>TOTAL GÉNÉRAL.....</b>                               | <b>16.000</b>            | <b>14.961</b>          |
| Par cheval-heure..                                      | } par la vapeur.....     | 0,067                  |
|   | } par le gaz pauvre..... | 0,060                  |

Au delà de 300 ou 400 chevaux, la vapeur regagne du terrain ; vers 500 ou 600 chevaux, nous croyons qu'il faut lui donner souvent la préférence, et qu'il n'y a généralement pas d'hésitation possible, à moins qu'on ne fasse emploi de gazogènes spéciaux, tels que les Mond ou les Duff, qui permettent de récupérer les produits nitreux et les goudrons. Dans ces conditions, on fait intervenir un élément nouveau, qui mérite d'être pris en considération.

Le prix du combustible de choix qu'exige un gazogène réduit l'avantage que possède le moteur à gaz sur la machine à vapeur : il est facile de nous rendre compte du fait.

Le rendement thermique du moteur à gaz est toujours plus élevé que celui de la machine à vapeur, même avec surchauffe, ainsi que je l'ai démontré en 1902 (1). Cette prééminence ressort à l'évidence, quand on considère le groupe chaudière et la machine à vapeur, d'une part, et le groupe gazogène et moteur, d'autre part. J'ai constaté, en effet, que le rendement de 77,5 % n'est que rarement atteint par la meilleure des chaudières dans les essais les plus triomphants, et que le maximum de rendement thermique effectif de la plus remarquable machine à vapeur est de 21,2 % ; or,  $0,775 \times 0,212 = 0,164$ . Un rendement de 16,4 % est donc le plus beau qu'on puisse rêver actuellement en vapeur. En gaz, on arrive pour le gazogène à 84 % et pour le moteur à 27 % ; le rendement total est donc de 26,5.

Qui oserait dès lors mettre en parallèle les appareils à vapeur avec les appareils à gaz, si les calories dont ils se nourrissent étaient au même prix ?

Il est malheureusement loin d'en être ainsi, lorsqu'on charge le générateur

1. Wirz, « Rendement comparé des machines à vapeur et des moteurs à gaz » dans *l'Eclairage électrique*, 4 et 11 janvier 1902. Voir aussi notre « Histoire et théorie de la surchauffe » dans le *Bulletin de la Société industrielle du Nord*, 1903.



d'anthracite ou de charbon maigre anthraciteux, que nous avons estimé ci-dessus à 28 francs la tonne au lieu de 20, soit 1,4 fois plus cher.

Cette proportion est celle de nos pays du Nord de la France ; elle est différente dans les contrées dénuées de charbon où le frêt tend à rapprocher les prix. Il y a donc des régions industrielles pour lesquelles l'emploi des gaz pauvres est plus avantageux qu'en d'autres.

Quand on gazéfie du coke, le moteur à gaz pauvre reconquiert sa prééminence sur la machine à vapeur, en vertu même des conditions avantageuses dans lesquelles on peut quelquefois se procurer le coke des usines à gaz. Avec du coke, la calorie n'est souvent pas plus chère qu'avec du tout-venant de chaudière, en certaines circonstances, et l'installation d'une puissance de 800 à 1.000 chevaux peut encore être réellement économique.

L'utilisation des déchets de bois en gazogènes est une autre pratique extrêmement avantageuse en bien des cas : en voici une preuve. Appelé à faire des essais à Vierzon, sur le gazogène autoréducteur de la Société française de Matériel agricole, en janvier 1914, j'ai pu produire le cheval-heure dans une installation de 100 chevaux, par 775 grammes de débris de bois de toute nature, renfermant encore 14,8 % d'humidité : ce résultat était remarquable. J'ai même pu marcher de longues heures avec des bûchettes de chêne, contenant 41,57 % d'eau : la consommation n'était encore que de 1.463 grammes par cheval-heure.

Dans la grande généralité des cas, la puissance à développer ne dépassant pas 1.000 chevaux, le gaz pauvre possède d'indiscutables avantages sur la vapeur.

Cette conclusion n'a pas l'heur de faire les affaires de tout le monde, et des objections se font entendre.

Les défenseurs de la vapeur, que la nécessité oblige de faire flèche de tout bois, revendiquent pour la machine à vapeur une sécurité de fonctionnement et une régularité de service à laquelle ne peuvent prétendre, disent-ils, les meilleurs gazogènes et moteurs. Développons cet argument et discutons-le.

Un siècle d'études et de pratique a élevé la machine à vapeur à une perfection de forme et de construction qui la met présentement au premier rang des moteurs. Ses organes, calculés par des formules qui ont subi l'épreuve d'une application maintes fois répétée, établis d'après des règles qu'un service prolongé a confirmées ou corrigées, quand il le fallait, sont dessinés et construits dans les meilleures conditions d'action et de résistance. Le mécanisme de la machine à vapeur est ainsi devenu un chef-d'œuvre de l'art, présentant une remarquable sécurité de fonctionnement, et qui n'est plus exposé qu'à de bien rares accidents. Le graissage des organes frottants se fait de telle sorte aujourd'hui que l'usure est réduite au minimum, et que des grippements ne se produisent presque jamais ; les ruptures d'arbres, de boutons de manivelle, de crosses, de tiges de pistons, d'étriers de bielles, de transmission de pompes à air, de tiges de tiroirs, de cylindres, de bâtis, etc., autrefois assez fréquents, ne constituent plus qu'une



éventualité improbable pour toute machine bien conduite, sévèrement surveillée, et non surmenée. Les coups d'eau seuls, causés quelquefois par un entraînement violent de l'eau des chaudières, plus souvent par une invasion du cylindre par l'eau du condenseur, restent une menace pour le moteur à vapeur, mais certaines précautions imposées au conducteur, et des appareils de sûreté ingénieusement appliqués, conjurent le péril et sauvegardent la machine.

Les avaries de chaudières sont peut-être plus à redouter que celles du mécanisme moteur ; des coups de feu aux tôles qui voient le charbon incandescent, des fuites aux tubes et aux entretoises, des corrosions du métal, peuvent provoquer des arrêts, mais une inspection soigneuse, faite par des hommes du métier, et les visites officielles périodiques imposées par l'administration, font généralement découvrir ces tares avant qu'elles ne produisent de conséquences funestes. Aussi les explosions sont-elles moins fréquentes qu'autrefois ; les statistiques dressées par le corps des Mines français estiment qu'il se produit trois accidents annuels par 10.000 appareils en service.

Bref : la machine à vapeur présente aujourd'hui une grande sécurité de fonctionnement.

Le moteur à gaz a bénéficié lui aussi de l'expérience acquise par les constructeurs, de la précision réalisée par les méthodes de calcul et des progrès obtenus en métallurgie. Mais il faut reconnaître que les conditions de son fonctionnement sont autres que celles de la machine à vapeur. Dans les moteurs à quatre temps et à explosion, l'action impulsive du mélange tonnant est vive, très énergique, voire même brutale ; il suffit de considérer un diagramme pour s'en convaincre. La pression explosive peut atteindre 38 kilogrammes dans un moteur alimenté de gaz de ville, sous une compression préalable de 7 kgs 5.

Ces poussées violentes constituent assurément une épreuve pour les mécanismes qui les subissent et les transmettent ; mais on peut dire qu'elles sont prévues, et que tout est calculé en vue d'y résister. Par contre, un allumage prématuré du mélange tonnant développera sur le piston une contre-pression formidable, dont les effets peuvent dépasser les prévisions du mécanicien et la limite de résistance de l'arbre coudé ; des ruptures de vilebrequins ont autrefois jeté un profond discrédit sur le moteur à gaz. Ces accidents ne se sont guère répétés que pour certains moteurs et pour certains constructeurs ; mais la critique ne fait pas ces distinctions, et la concurrence n'est jamais indulgente ; elle a conclu trop sévèrement du particulier à l'espèce.

La réfrigération, ou du moins le rafraîchissement des soupapes d'échappement et des culasses de cylindre, voire même des pistons, inutile pour les petits moteurs, s'impose pour les puissantes machines à gaz ; quelques ingénieurs ne s'en sont pas rendu compte dès le début, et ils ont fait à cet égard une douloureuse et coûteuse école. Le surmenage aggravait encore le danger, et les accidents ont été plus nombreux pour des moteurs auxquels on imposait un travail excessif ou trop prolongé.



Le générateur de gaz pauvre à aspiration est un appareil qui est certainement moins sujet à avaries qu'une chaudière à vapeur, et bien rares sont les explosions qu'on a pu signaler.

On a fait état, contre les gaz pauvres, de grippements de cylindres occasionnés par des entraînements de poussières, d'engorgements de soupapes, produits par des dépôts de goudrons, et d'accidents analogues ; des installations faites dans des conditions regrettables ont, en effet, dû être reprises par les fournisseurs, et la chose a été complaisamment annoncée *urbi et orbi* ; il paraît que c'est de bonne guerre. On pourrait dire, il est vrai, que les gaziers avaient escompté le succès avec trop peu de discrétion, qu'ils avaient promis de trop merveilleux résultats, et qu'en somme leur réclame avait été si bruyante qu'elle justifiait les commentaires sévères de la partie adverse. La cause du moteur à gaz n'a, en effet, pas besoin d'être plaidée avec fracas ; il lui suffit d'un modeste et sincère exposé des faits.

La sécurité du fonctionnement du moteur à gaz a donc été moindre jusqu'ici que celle de la machine à vapeur ; on ne peut pas le méconnaître. Mais l'expérience a été profitable, et les insuccès du passé portent leurs fruits : si tous les constructeurs avaient développé progressivement la puissance des moteurs, en consolidant lentement les résultats acquis, s'ils n'avaient pas pris des engagements imprudents, s'ils avaient toujours étudié avec soin leurs installations, s'ils n'avaient pas surmené leurs moteurs, s'ils avaient épuré suffisamment les gaz, si l'on n'avait pas omis certaines précautions particulières quand on acceptait d'employer des charbons déterminés ; si, en un mot, on n'avait pas tenté d'aventures, l'histoire des moteurs à gaz n'aurait pas eu à enregistrer des défaites qui arrêtent encore son essor. Ces règles de prudence ont été observées par des constructeurs mieux avisés et moins audacieux : c'est ainsi qu'ont été montées certaines usines que nous connaissons, qui marchent depuis plus de vingt ans sans avoir eu un seul accident grave, ni aucune interruption de fonctionnement. Des services publics importants, qui ne tolèrent aucun arrêt, ont pu être desservis dans des conditions parfaites, sans aucune défaillance, par des groupes de gazogènes et moteurs. Des minoteries, en très grand nombre, des filatures, des imprimeries, des industries chimiques, des fabriques de glace sont actionnées aux gaz pauvres. MM. Pierson nous ont signalé, autrefois, leur installation des glaciers de la Briche, où les appareils fonctionnèrent huit mois de l'année, vingt-quatre heures par jour, avec un seul arrêt d'une demi-heure, nécessité par la visite et le graissage des organes ; un moteur de 140 chevaux a même tourné pendant quatre mois et demi consécutifs, soit 2.880 heures de suite, un raccourcissement de courroie ayant seulement provoqué un arrêt de quarante-cinq minutes. Un puissant moteur Cockerill, installé aux hauts fourneaux de Meiderich (*Rheinische Stahlwerke*), a fourni les états de service ci-dessous au cours de l'année 1903 : sur 7.731 heures de travail, l'établissement n'a subi que 321 heures d'arrêts pour nettoyages ou réparations.



Cette statistique a l'éloquence irréfutable des chiffres et elle vaut plus qu'un long discours. Faut-il multiplier ces citations? Cela nous paraît inutile.

Ces considérations sont assurément de nature à inspirer confiance aux industriels et à décider leur choix en faveur des moteurs à gaz pauvre et des gazogènes.

Voyons maintenant ce qu'il faut penser de la régularité relative des moteurs à vapeur et à gaz.

Le premier critérium de la régularité de marche d'un moteur est fourni par l'observation du nombre de révolutions effectuées par minute, dans les relations les plus variées de la puissance du moteur et de la résistance des appareils qu'il conduit. Les conditions à réaliser sont généralement spécifiées par les contrats de fourniture, de la manière qui suit : « La vitesse moyenne de rotation à vide ne sera pas supérieure de plus de 2 % à ce qu'elle est à pleine charge. » Cette clause, qui n'est réalisée que par d'excellentes machines motrices, ne fait pas état des variations de pression de la vapeur, ni de celles du pouvoir calorifique du gaz tonnant ; elle suppose seulement que l'un et l'autre resteront suffisants pour vaincre les résistances propres du moteur et des transmissions qu'il traîne avec lui. La constance de la vitesse moyenne est obtenue, malgré ces variations de la qualité du fluide moteur, par l'action d'un régulateur ; celui-ci proportionne exactement l'effort moteur à l'effort résistant, et il réalise ainsi un équilibre uniforme : il faut qu'il agisse promptement et avec précision, sans se laisser influencer par les résistances qu'il doit surmonter pour exercer son action. Le volant est un accumulateur d'énergie, qui absorbe et restitue ; sa capacité d'emmagasinement doit être d'autant plus grande que l'intervalle entre deux admissions sera plus long ; aussi faut-il des volants de très grande masse pour les moteurs monocylindriques, à quatre temps, même à admission variable. Il faut donc se résigner à donner plus de masse et une vitesse plus grande aux volants des moteurs à gaz à quatre temps : mais ce n'est qu'une question de fonte. On peut d'ailleurs économiser du poids aux jantes en multipliant les cylindres, et cette considération n'est pas un des moindres arguments en faveur des moteurs à deux ou plusieurs cylindres, duplex, triplex ou quadruplex.

A cette condition, le moteur à gaz n'est pas moins régulier que la machine à vapeur. Je pourrais étayer cette affirmation sur de nombreux exemples, dont je trouverais les éléments dans mes carnets d'expériences et d'essais. Je me contenterai de celui-ci, parce qu'il est très précis. Un moteur de 300 chevaux a vu varier sa vitesse de 131 tours, à pleine charge, à 133,65 à demi-charge, la différence étant de 2 % : c'est un moteur à gaz pauvre, avec gazomètre de 15 mètres cubes, soit de 50 litres par cheval, constituant une réserve extrêmement faible.

En somme, le moteur à gaz, calculé avec largeur et installé dans les conditions voulues, convient aux industries qui exigent la plus grande régularité moyenne.



Mais cet élément ne suffit pas. Le développement des alternateurs commandés par moteurs directement ou par courroies ou câbles est venu imposer une condition nouvelle. L'accouplement en parallèle de ces alternateurs n'est possible qu'avec des moteurs possédant un coefficient de régularité par tour extrêmement élevé, par suite des mouvements périodiques qui se produisent et des harmoniques qui s'ajoutent aux ondes fondamentales dans les réseaux de distribution. Les électriciens demandent aujourd'hui à être fixés sur les variations de la vitesse angulaire pendant un tour, et sur l'écart maximum entre les positions d'une manivelle idéale, tournant d'un mouvement uniforme, et de la manivelle réelle du moteur. Ces deux quantités sont fonctions l'une de l'autre ; elles dépendent de ce que l'on appelle la régularité *cyclique* des moteurs.

Il est évident que, dans un moteur à quatre temps à un cylindre, la vitesse angulaire subirait des variations considérables, dans les quatre temps du cycle, si le volant n'intervenait énergiquement pour les effacer : les travaux anciens déjà de MM. Ransom, Duveau, etc., ont permis de mesurer la diminution de vitesse angulaire, qui coïncide avec l'achèvement du temps de compression et l'augmentation produite aussitôt après la poussée explosive. Nous avons déjà traité cette question (1).

Les coefficients de régularité  $R = \frac{2 V_m}{V_{max} - V_{min}}$  par tour prennent les valeurs qu'on veut leur donner, en atténuant les pressions explosives, en accélérant la vitesse et en emmagasinant suffisamment d'énergie dans leur volant pour franchir les temps morts ; la multiplication des cylindres permet même de supprimer l'action de ceux-ci sur le vilebrequin. Les électriciens exigent pour  $R$  des valeurs égales à 75, quand il s'agit d'une commande de dynamos à lumière à courant continu, et ils réclament plus de 250 pour les alternateurs accouplés. En machines à vapeur, on arrive à faire beaucoup mieux. J'ai connu une machine Dujardin de 1.500 chevaux indiqués, faisant 75 tours, actionnant un alternateur à 50 périodes, à faible réaction, qui réalisait en accélération ou ralentissement une régularité égale à 427 ou 540, correspondante à 0°,067 et 0°,059 pour l'écart  $\theta$  (2). Les moteurs à gaz sont loin encore de cette perfection, mais ils pourraient s'en rapprocher. L'expérience a démontré que la variation des vitesses dans le cycle est sensiblement en raison inverse de  $\frac{P w^2}{S}$   $P$  étant le poids réduit du volant (transporté à la jante),  $w$  la vitesse du moteur et  $S$  la surface de son piston. Or, rien ne met obstacle à ce que l'on donne à ces divers éléments les valeurs nécessaires pour amener  $R$  à la valeur demandée par les besoins d'une station d'électricité. Les moteurs à gaz pourront donc

1. Cf. tome I, page 555.

2. Si nous comparons le mouvement réel de la manivelle au mouvement d'une manivelle idéale, dont la vitesse serait rigoureusement uniforme, nous constaterons qu'elles formeront entre elles un angle variable  $\theta$ , qu'on appelle l'angle d'écart ; sa valeur maximum est caractéristique du moteur considéré.



être appliqués à la commande des alternateurs accouplés, dans les cas toutefois où le coefficient de régularité sera le seul facteur à envisager : mais je reconnais que l'augmentation de l'inertie du volant pourrait quelquefois créer des difficultés spéciales, parce que les moteurs n'obéiraient plus à l'action des courants de circulation et ne se régleraient plus l'un l'autre. Cette question soulève des difficultés théoriques déjà envisagées sur lesquelles nous ne reviendrons pas.

Un fait est dès maintenant acquis ; il existe des moteurs à gaz qui peuvent, dans des cas déterminés, être utilisés avec succès pour l'accouplement des alternateurs, et la Société suisse pour la construction de machines à Winterthur m'en fournit une preuve décisive, qui constitue un document irréfutable et d'une importance considérable. Cette société a installé à Embrach, près de Winterthur, trois moteurs à gaz pauvre de 100 chevaux, à 160 tours, et un moteur de 40 chevaux, à 180 tours, actionnant chacun par courroie un alternateur triphasé d'Oerlikon ; cette station fournit la puissance motrice à une fabrique de tuyaux en grès et à une fabrique de carreaux en terre cuite, et elle transporte 40 chevaux à trois kilomètres. Cette installation a été mise en service en décembre 1900, et elle a fourni depuis lors un service quotidien régulier de onze heures par jour ; le plus souvent on n'accouple que les deux alternateurs de 100 chevaux. La demande de travail est d'ailleurs très irrégulière et les ampères varient par moments du simple au triple. Les moteurs portent un volant de 3 m. 20 de diamètre, pesant 10 tonnes ; les tachygrammes, relevés sur l'arbre de la dynamo I accouplée avec la dynamo II, montrent que la variation des vitesses est en moyenne de 1,2 à 1,3 %. Or, ce degré de régularité suffit pour entretenir la coïncidence des phases, et le fonctionnement de la station a toujours été excellent ; les lampes de phase restent sombres souvent plus de trente secondes. Les alternateurs ne se sont découplés qu'une seule fois, au cours d'une expérience dans laquelle on avait, à titre d'essai, embrayé en même temps toutes les presses à argile.

Cet exemple n'est pas unique, mais il suffit à ma démonstration (1).

On reproche fréquemment (c'est devenu un cliché) aux moteurs à gaz de manquer d'élasticité, et l'accusation ne manque pas de fondement ; mais encore faut-il bien s'entendre sur ce que les mots veulent dire. Il est indéniable que le moteur à explosion, quel que soit son mode de réglage, fût-il même à admission variable, donc quantitatif, ne possède pas la souplesse de la machine à vapeur. Celle-ci est calculée pour une très faible admission, donc pour une longue détente, qui lui fait développer sa puissance nominale dans les conditions de son meilleur rendement : elle peut doubler, tripler son admission, et par suite augmenter considérablement le travail qu'elle fournit par coup moteur, sans que son coefficient d'utilisation en soit grandement affecté. Le moteur à gaz

1. Cette belle installation de la Société de Winterthur a été décrite dans *la Revue technique*, numéro du 10 novembre 1903 avec tous les résultats des essais dont elle a été l'objet.



ne jouit pas au même degré de ce privilège : il n'y a qu'à comparer les diagrammes de l'une et l'autre machine pour le constater. Les moteurs à combustion sont à cet égard supérieurs aux moteurs à explosion : les diagrammes Gardie et Diesel en témoignent. Mais le grief que l'on formule contre les moteurs à gaz à explosion, quand on les accuse de ne pas avoir d'élasticité, a souvent un autre sens ; on leur reproche d'avoir une marge de puissance trop étroite ; pour préciser les choses par un exemple, on prétend qu'un moteur dit de 500 chevaux n'est pas bien conditionné pour en produire 525, et que si on le surcharge ainsi on le voit perdre à la fois du rendement et de la régularité, moyenne et cyclique. Il ne serait pas constitué pour fournir un coup de collier, quand besoin en est. Sur ce point, nous n'acceptons pas l'accusation *in genere*, car elle n'est point fondée. Que des moteurs aient eu le défaut que nous venons de dire, c'est exact ; mais ces moteurs avaient été mal calculés, ou bien établis trop parcimonieusement, et la responsabilité des insuccès en incombait au constructeur et non pas au type de machine. Il y a des règles de calcul à observer : c'est pour les avoir méconnues que certains constructeurs ont subi de fâcheux laissés pour compte. Lors d'un arbitrage que je faisais, il y a quelques années sur une grandiose installation de sept moteurs de 100 chevaux, ces machines furent refusées pour leur puissance nominale et acceptées pour les deux tiers de cette puissance ; les moteurs étaient surmenés quand ils développaient 100 chevaux, mais ils marchaient bien au régime de 65 chevaux. J'ai été remis plus tard en présence du même cas : il s'agissait alors de moteurs beaucoup plus puissants, alimentés au gaz pauvre, par des gazogènes avec récupération. On arguait de la mauvaise qualité des gaz : la défense était mauvaise. En effet, la pauvreté relative du gaz servi au moteur aggrave souvent les cas d'insuffisance, mais elle ne les excuse pas, car il faut les prévoir : les gaz de ville ont des pouvoirs qui oscillent de 4.800 à 5.750 calories par mètre cube à 0 degré et 760 millimètres de pression. C'est une variation totale de 20 % ; la différence en moins est de 8 % relativement au pouvoir moyen de 5.250 calories. En gaz pauvres, il peut se produire accidentellement des écarts beaucoup plus considérables ; on le sait, à l'avance, et il faut se prémunir contre cette éventualité. Un constructeur sage et prudent se garde contre tous ces aléas, en calculant largement ses moteurs et en leur donnant l'élasticité dont ils ont absolument besoin ; il laisse à ses concurrents de troisième ordre la pratique condamnable de vendre pour 100 chevaux un moteur qui devient haletant à 80 chevaux, pour peu que le gaz perde un peu de sa richesse, et qui ne supporte en tout cas sa pleine charge, avec le gaz le plus riche, que durant un quart d'heure au plus. Mais nous touchons ici à une question d'honnêteté commerciale, que nous ne voulons pas envisager plus longuement. Il existe de bonnes maisons, qui garantissent des surcharges de 25 %, et des rendements encore satisfaisants à trois quarts de charge, voire même à demi-charge : qu'on s'adresse à elles.

Nous avons un dernier mot à dire à l'honneur de notre moteur : il présente



sur la machine à vapeur un certain avantage, que nous devons mettre en lumière ici ; il est relatif à la consommation d'eau.

J'ai eu un jour à m'occuper d'une petite station de tramways électriques, placée dans un endroit dépourvu d'eau : cette pénurie avait obligé de renoncer à l'emploi d'une machine à vapeur, que l'on avait d'abord projetée.

Une citerne en maçonnerie fut construite, d'une capacité de trente mètres cubes ; elle constituait la réserve et le réfrigérant général d'eau. On lui adjoignit un réservoir métallique de 22 mètres cubes, dont on renouvelait l'eau en la puisant à la citerne et en l'y renvoyant à l'aide d'une pompe de circulation : ce réservoir assurait par thermosiphon la réfrigération des cylindres des trois moteurs de 30 chevaux de la station. Le scrubber à coke servant au lavage du gaz était arrosé par un mince filet d'eau, provenant d'un réservoir supérieur jaugeant 500 litres, dans lequel une petite pompe relevait l'eau après sa décantation dans un bassin de dépôt. L'eau nécessaire à la chaudière des gazogènes était puisée par un injecteur au thermosiphon alimentant les enveloppes des cylindres.

Bref : il n'y a d'eau à fournir que pour compenser les pertes de la circulation, de l'évaporation et de l'alimentation de la chaudière ; pour une production de 125 mètres cubes de gaz par heure, il faut exactement 37,6 litres pour la chaudière et environ le double pour le reste ; soit en tout 120 litres. Or, avec 125 mètres cubes à 1.243 calories, on fait sans peine 50 chevaux effectifs. Il faut donc deux litres et demi par cheval-heure effectif, au maximum.

Une machine à vapeur à échappement libre aurait consommé pour le moins 700 litres d'eau par heure, soit 14 litres par cheval-heure effectif.

Une machine à vapeur à condensation aurait exigé en plus 250 litres par cheval-heure pour le service du condenseur ; cela eût fait 12.500 litres par heure.

Nous n'ajouterons rien à ces chiffres, qui ont reçu une confirmation pratique.

En somme, au quadruple point de vue du prix de revient de l'unité de travail, de la sécurité du fonctionnement, de la régularité de la marche et de la consommation d'eau, les moteurs à gaz peuvent entrer en lutte avantageusement avec les machines à vapeur, dans des conditions déterminées, quand ils sont bien installés, bien conduits et bien adaptés au genre de services qu'ils sont appelés à rendre. S'ils ne sont pas encore susceptibles d'une application aussi générale, ils doivent dès maintenant être l'objet d'une préférence marquée dans certains cas spéciaux, que les ingénieurs compétents sauront reconnaître et dont l'industrie tirera un grand profit.

\* \* \*

La machine à vapeur a trouvé un nouveau et redoutable concurrent dans les moteurs Diesel.

Nous ne reviendrons pas sur les qualités de ces remarquables machines ;



rappelons seulement quelques traits particulièrement caractéristiques au point de vue spécial des applications. La supériorité de leur rendement thermique est écrasante : il peut atteindre pratiquement 35 %, de sorte que le cheval-heure effectif s'obtient par 1.800 calories. La dépense monte à 2.200 calories au plus à demi-charge. La souplesse de ces moteurs est comparable à celle des meilleures machines à vapeur. Ils n'ont besoin d'aucun accessoire encombrant et coûteux, comme le sont les chaudières et les gazogènes. Leur fonctionnement est devenu très sûr et très régulier. Ils s'accommodent d'huiles lourdes, restées longtemps sans emploi pour la production de la puissance motrice. Bref, ils mettent en échec non seulement la machine à vapeur, mais encore le moteur à gaz pauvre.

La médaille a un revers, comme en ont les plus belles médailles. Et d'abord la construction demande à être extrêmement soignée et l'entretien doit être surveillé de près. D'autre part, les Diesel coûtent cher à établir dans de bonnes conditions et, par suite, ils se paient des prix élevés. Les premiers brevets étant tombés dans le domaine public et la construction s'étant développée et perfectionnée, ces prix avaient baissé, il est vrai, à la veille de la guerre ; d'après M. Du Bousquet, à qui nous empruntons ces chiffres (1), un moteur de 100 chevaux ne coûtait plus que 21.000 francs (au lieu de 30.000) et un moteur de 500 chevaux 84.000 au lieu de 120.000. Malgré cette baisse, on pouvait reculer devant ces prix. Enfin, l'huile revenait à près de 8 francs les 100 kilogrammes, ce qui mettait les mille calories à  $\frac{8}{10}$  de centime.

Voici les données comparatives de construction et les poids d'une machine à vapeur et d'un moteur Diesel d'une puissance de 500 chevaux effectifs : la première est supposée compound, le second est formé de trois cylindres. Pour la première, il s'agit du poids de la machine nue, sans chaudière, tandis que le Diesel est pris avec ses compresseurs et ses réservoirs.

|                            | Machine à vapeur. | Moteur Diesel. |
|----------------------------|-------------------|----------------|
| Diamètre des cylindres.... | 525/850 mm.       | 580 mm.        |
| Course des pistons.....    | 1 m. 000          | 0 m. 780       |
| Nombre de tours.....       | 100               | 150            |
| Poids total.....           | 31.000 kg.        | 90.000 kg.     |

Comparons le prix de revient du cheval-heure effectif obtenu par ces deux machines.

*Frais de premier établissement.*

*Machine à vapeur.*

|  |                 |
|--|-----------------|
| Trois chaudières (dont une de réserve).... | 30.000 francs.  |
| Trois surchauffeurs.....                   | 5.500 —         |
| Un économiseur.....                        | 3.000 —         |
| Tuyauteries et divers.....                 | 8.500 —         |
| Maçonneries, bâtiment et cheminée.....     | 18.000 —        |
| Machine à vapeur et condenseur.....        | 35.000 —        |
|  | <hr/>           |
|  | 100.000 francs. |

1. DU BOUSQUET, « Les moteurs à combustion interne et le moteur Diesel », *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, avril 1911.



Moteur Diesel (1).

|                                       |                |
|---------------------------------------|----------------|
| Bâtiment et fondations du moteur..... | 6.000 francs.  |
| Machine à 3 cylindres.....            | 77.000 —       |
| Tuyauteries, etc.....                 | 7.000 —        |
|                                       | <hr/>          |
|                                       | 90.000 francs. |

Passons au prix de revient du cheval-heure pour 2.400 heures de fonctionnement annuel. Il faut tenir compte de ce que le service d'une installation à vapeur exige plus de personnel, attendu que la chaudière occupe un chauffeur ; par contre, pour un Diésel, l'amortissement est plus élevé ainsi que les frais d'entretien et de réparations.

|   | MACHINE<br>A VAPEUR           | MOTEUR<br>DIESEL |
|---|-------------------------------|------------------|
| A. — <i>Frais généraux et service.</i>                  |                               |                  |
| Intérêts à 5 % du capital de premier établissement..... | 5.000 »                       | 4.500 »          |
| Amortissement....                                       | 7 % du matériel (vapeur)..... | »                |
|   | 10 — — (Diesel).....          | 8.400 »          |
|   | 2 — des maçonneries.....      | 120 »            |
| Personnel.....  | 4.500 »                       | 3.000 »          |
| Huiles et graisses.....                                 | 1.200 »                       | 1.500 »          |
| Entretien et réparations.....                           | 3.000 »                       | 5.000 »          |
|   | <hr/>                         | <hr/>            |
| B. — <i>Combustible.</i>                                |                               |                  |
| 1.200 tonnes de charbon à 20 francs la tonne.....       | 24.000 »                      | »                |
| 240 — de houille à 80 — — .....                         | »                             | 19.200 »         |
|   | <hr/>                         | <hr/>            |
|   | 44.100 »                      | 41.720 »         |
| Par cheval-heure effectif....                           | { par la vapeur.....          | 0,037            |
|   | { par l'huile.....            | » 0,035          |

Ces calculs reposent sur une base réelle; j'ai estimé la consommation de la machine à vapeur à un kilogramme de charbon par cheval-heure effectif (allumages compris), celle du Diesel à 200 grammes d'une huile de goudron ou autre à 10.000 calories; les prix de 20 francs et de 80 francs sont dans le rapport habituel pour ces combustibles. Et nous aboutissons à une économie, légère assurément, mais appréciable (2.400 francs par an). Or, il faut observer qu'il est plus commun de produire l'unité de puissance effective par 200 grammes d'huile que par un kilogramme de houille; de plus, la marche du Diesel est aussi régulière et aussi souple que celle d'une Compound. Le Diesel ne consomme que lorsqu'il tourne, et cette consommation reste longtemps proportionnelle à sa charge; il exige relativement peu d'eau; son encombrement est moindre que celui d'une machine à vapeur et d'un moteur à gaz pauvre, auquel s'appliquent, du reste, toutes les considérations qui précèdent.

Je dirai encore que des ingénieurs compétents se sont montrés plus optimistes que je ne le suis dans leurs appréciations sur les résultats économiques que l'on peut attendre du moteur Diesel. M. Du Bousquet estime à 4,41 et 3,23 centimes

1. On construit en Allemagne des moteurs Diesel à grande vitesse (*schnellaeufer*), qui coûtent de 18 à 20 % moins cher et ne consomment pas davantage, mais qui ne conviennent pas à toutes les applications et dont l'usure est plus rapide.



le coût du cheval-heure par vapeur et pétrole, soit une différence de 1,18 centime en faveur du Diesel. M. Sengier donne le tableau ci-dessous, pour lever ses puissances à développer par la machine à vapeur, le moteur à gaz pauvre et le moteur Diesel (1).

| PUISSANCE EN CHEVAUX             | MOTEUR<br>A VAPEUR |            | MOTEUR<br>A GAZ PAUVRE |            | MOTEUR<br>DIESEL |            |
|----------------------------------|--------------------|------------|------------------------|------------|------------------|------------|
|                                  | 80                 | 160        | 80                     | 160        | 80               | 160        |
| Frais totaux d'établissement...  | 33.250 fr.         | 49.400 fr. | 28.575 fr.             | 45.900 fr. | 26.875 fr.       | 47.900 fr. |
| Prix du cheval-heure effectif... | 0 fr. 065          | 0 fr. 051  | 0 fr. 055              | 0 fr. 041  | 0 fr. 405        | 0 fr. 033  |

Ce sont des prix d'Angleterre : la tonne anglaise de 1.015 kilogrammes a été cotée 15 fr. 60 pour le charbon, 30 francs pour l'anthracite et 56 francs pour le pétrole; ajoutons que le prix du mètre carré de terrain a été estimé à 50 francs.

En somme, nous voyons qu'en certaines circonstances l'emploi de la vapeur est certainement moins avantageux que celui du gaz pauvre et des pétroles lourds : mais on remarquera sous quelles réserves nous formulons cette conclusion.

Nous terminerons cet exposé en répétant ce que nous disions à nos collègues de la Société industrielle du Nord de la France, en 1913 (2) : La machine à vapeur traverse une crise; il faut le reconnaître, mais elle n'a peut-être pas la gravité qu'on lui prête dans des vues souvent intéressées; d'ailleurs, il y a des crises salutaires. Obligée de se défendre, la machine à vapeur a déjà mis et elle mettra encore de nouvelles cordes à son arc. Son champ d'action a incontestablement été réduit; mais elle se retranche vigoureusement dans les provinces qui lui restent, et celles-ci sont vastes encore et fort riches.

Il y a quelques années, dans un accès d'humour, un éminent ingénieur anglais déclarait que, bientôt, on ne verrait plus de machines à vapeur à piston que dans les musées, à côté de la machine à vapeur de Newcomen et de la voiture à vapeur de Cugnot.

Cet ingénieur prophétisait à court terme, ce qui est toujours dangereux; quelle que longue vie que Dieu lui prête, il ne verra pas la réalisation de son pronostic.

Dans la voie du progrès, les uns prennent de l'avance sur les autres, mais ne les empêchent pas d'avancer : on peut briller encore au second rang.

De grandes inventions peuvent se développer concurremment, et c'est une erreur de croire que *ceci tuera cela* : l'éclairage électrique n'a pas tué l'éclairage au gaz et la bougie vit encore elle-même; la télégraphie sans fil recueille les ondes hertziennes qui traversent l'immensité des mers, mais on ne coupe pas les câbles transatlantiques, dont la nécessité reste incontestable.

1. SENGIER, « Le moteur Diesel en Angleterre », *Bulletin du cercle des électriciens*, 1<sup>er</sup> fascicule, 1906.  
 2. WITZ, « La crise de la machine à vapeur », *Bulletin de la Société industrielle du Nord de la France*, 1913.



On construira toujours des machines à vapeur à piston, en même temps que des turbines et des moteurs à combustion interne.

La concurrence que ces machines se feront sera un stimulant pour leurs constructeurs, un élément de progrès pour la mécanique appliquée et un bénéfice constant pour l'industrie, car toutes ces luttes se poursuivent à son profit.

\* \* \*

La question de la production de la puissance motrice dans l'industrie se présente actuellement sous un nouveau jour, par suite de l'entrée en scène des distributions d'énergie électrique par les grandes Centrales.

L'électricité est une forme supérieure de l'énergie : elle se prête admirablement à des applications multiples et variées, en vertu même de la supériorité de sa forme; elle se transporte au loin, avec des pertes qu'on réduit à volonté en augmentant sa tension et la section de ses conduites, et se distribue partout en se répartissant suivant la demande. Une industrie nouvelle est née, qui a pour objet de produire cette énergie, de la fournir aux industriels qui l'utilisent en tous les points du territoire, se présentant à leur porte, se mettant à leur disposition comme un serviteur docile et fidèle, qui ne se refuse jamais au travail, tant que celui-ci ne dépasse point ses forces, et se fait payer un prix convenu et tarifé, nécessaire et suffisant pour couvrir les frais de production, assez modéré pour satisfaire ses clients.

Voilà donc un concurrent nouveau à la vapeur, aux gaz riches et pauvres et aux huiles de toute nature. « Ne vous occupez plus de votre puissance motrice, disent les marchands de courant aux usiniers, et reposez-vous sur nous de ce soin : combien vous faut-il de kilowatts? Combien d'heures travaillez-vous par an? Le kilowatt-heure vous sera facturé à tel prix : vous ne sauriez le produire chez vous à ce taux; il n'y a donc point d'hésitation possible, etc. » Tous nous avons entendu ce discours.

Les ingénieurs-conseils sont souvent consultés sur la question de savoir s'il faut s'abonner ou non au service du réseau. Question délicate, qu'il est nécessaire d'étudier avant de prendre une résolution. Si vous êtes décidé à électrifier votre établissement, mieux vaut généralement acheter le courant que de le fabriquer vous-même, pour de nombreuses raisons; cela vous reviendra d'ordinaire moins cher : toutefois, il faut voir ce qu'on veut vous faire payer le kilowatt-heure. Au contraire, n'êtes-vous pas encore électrifié? Dans ce cas, le problème est beaucoup plus compliqué, car il comporte des solutions variées, qui dépendent de conditions multiples : dans un établissement considérable, installé nouvellement, j'exige un prix réellement réduit de l'unité de travail du kilowatt-heure, pour donner la préférence aux moteurs électriques alimentés par un réseau. Avant la guerre, les Centrales mises en concurrence appliquaient des tarifs que l'on ne reverra plus de longtemps, qu'on ne reverra jamais si la vente du courant



était monopolisée sous la direction de l'État. Il y aurait alors lieu de discuter énergiquement les propositions faites, en faisant état des chiffres établis ci-dessus, et en se rappelant qu'au kilowatt-heure marqué au compteur et payé, ne correspond pas un kilowatt disponible sur l'arbre des moteurs. Ceux-ci rendent 90 % s'ils sont de puissance considérable et de très bonne construction, mais beaucoup de petits moteurs ont un rendement égal à 80 %, ce qui implique une majoration notable qu'on ne peut négliger (1).

### 3. Stations d'électricité.

J'avais démontré, il y a plusieurs années déjà (2), par des expériences indiscutables, qu'en consommant le gaz dans un moteur actionnant une dynamo, on produisait par l'électricité une quantité de lumière plus grande qu'en brûlant directement ce même volume de gaz dans les meilleurs foyers de lumière. En effet, on obtient aisément le kilowatt-heure par 800 litres de gaz de ville; on se crée donc une disponibilité de 1.000 watts, permettant de produire par l'arc voltaïque et les lampes à incandescence, dites demi-watts, pour le moins 16.000 bougies-heures, en tenant compte des pertes en canalisations et autres. Il en résulte que la bougie-heure correspond à cinq centilitres de gaz : or, un bec Auer dépense plus de deux litres par bougie-heure, dès le début de son existence.

Il y a dès lors souvent intérêt à faire usage du gaz en moteurs, et d'en transformer ensuite l'énergie en lumière dans les lampes électriques à incandescence; quand on emploie l'arc voltaïque, l'avantage est plus grand encore que nous venons de le dire.

On comprend donc que le producteur de gaz se décide lui-même à transformer son produit pour le livrer aux consommateurs sous la forme qui a leurs préférences.

Les compagnies gazières ont tout intérêt à agir de la sorte; elles trouvent d'abord le moyen de conserver le monopole de l'éclairage public, qui tend à leur échapper. Elles utilisent, d'autre part, leurs conduites, leur personnel, leur gaz, sans augmenter leurs frais généraux d'une manière notable; elles ont, par suite, de grands avantages sur les compagnies rivales d'électricité.

En alimentant le réseau de distribution électrique à basse tension par des dynamos séparées, elles évitent l'emploi des gros conducteurs et des feeders : c'est encore une considération à faire valoir.

Ainsi s'explique la politique de nombreuses Compagnies gazières qui, à un moment donné, ont adjoint à leurs usines de petites centrales d'électricité. Le

1. Voir WITZ, *La crise du combustible et ses remèdes*, O. Doin, Paris, 1920.

2. *Revue générale des Sciences*, 1890, 30 novembre : « Du rendement photogénique des foyers. »



mouvement débuta en Angleterre et en Allemagne; il fut bientôt suivi en France, et les Compagnies s'en sont bien trouvées, ainsi que le public. Ces stations auxiliaires ont disparu pour la plupart, mais il convenait d'en rappeler le souvenir.

Les services que les moteurs peuvent rendre dans de semblables stations sont d'ailleurs de nature diverse.

Dans les stations pour lesquelles le débit est très variable, suivant les heures de la journée et de la nuit, on est obligé d'établir comme réserve d'importantes batteries d'accumulateurs, que l'on charge pendant les périodes de moindre consommation et qui restituent l'énergie emmagasinée au moment du besoin. Ces batteries ont le défaut de coûter cher, d'être d'un entretien coûteux, d'exiger des soins particuliers et d'occuper beaucoup de place. Il serait souvent plus avantageux d'employer comme réserve un moteur à gaz, qui interviendrait comme renfort au moment où la machine motrice se trouverait surchargée. C'est l'idée qu'a eue M. Perry, en Amérique, et qu'il a réalisée avec succès et profit.

Cette combinaison du gaz et de l'électricité donnait satisfaction à la nombreuse clientèle qui réclame l'électricité, et elle permettait souvent aux compagnies gazières de conserver leurs usines et d'en tirer parti avantageusement pour elles et leurs abonnés.

Ce raisonnement pouvait être poussé plus loin encore; en effet, pourquoi les particuliers n'entreprendraient-ils pas de créer des installations spéciales au centre des îlots de maisons qui demandent la lumière électrique? On peut desservir une trentaine de clients sans traverser la rue, et, par suite, sans avoir à entamer la lutte contre le monopole des sociétés d'éclairage. Les gaziers seront trop heureux de trouver encore le moyen de vendre leur produit, et ils consentiront souvent des réductions de tarifs très appréciables (1). Dans les villes où le gaz des moteurs se vend à un taux spécial, on est dans des conditions éminemment favorables pour tenter cette entreprise, alors même qu'il existerait déjà une station centrale.

L'emploi des gaz pauvres n'a pas tous les avantages que procure la marche des moteurs au gaz de ville, mais il en présente un autre, c'est de tirer parti du sous-produit coke, dont les usines ont parfois tant de peine à se débarrasser. Cette idée a été mise en pratique autrefois par MM. Pierson, à la station d'éclairage électrique de l'usine de Tunis (2). On y utilise en gazogène un coke tout venant, de très médiocre qualité, produit par l'usine elle-même. Les moteurs peuvent être alimentés à volonté au gaz de distillation ou bien au gaz pauvre. Deux canalisations sont établies à cet effet et l'on peut passer d'un gaz à l'autre

1. M. West, président de la Société des ingénieurs civils de Manchester, engage les compagnies gazières à favoriser le plus possible l'établissement de ces installations particulières, en offrant à leurs clients des dynamos et des moteurs en location, comme elles le font pour les appareils de chauffage.

2. Voir la description de cette station dans *le Génie civil*, 5 décembre 1903.



sans arrêter les moteurs; le changement de régime ne cause aucune perturbation dans la régularité de la lumière. Et d'abord, l'usine à gaz produit les deux aliments nécessaires aux moteurs et au gazogène, le gaz de houille et le coke. Cela dispense de faire une installation de secours. Le gaz de houille, en effet, peut servir de secours dans le cas où le gazogène serait en réparation; ce cas est rare, mais il faut le prévoir. Ensuite, l'industrie gazière reste dans son élément, qui est le gaz et non pas la vapeur.

En troisième lieu, il est possible, avec une installation ainsi montée, de consommer ou de produire du coke à volonté. Lorsque le coke est cher et de bonne vente, on fera marcher les moteurs au gaz de houille; par contre, le gaz est-il déprécié et difficile à vendre, on alimentera les moteurs au gaz pauvre en brûlant du coke dans le gazogène. Le coke, transformé ainsi en électricité, produira au moins un kilowatt pour 1.000 grammes de coke; si le kilowatt est vendu 60 centimes, la tonne de coke ressortira, tous frais compris, à un prix bien supérieur à sa valeur vénale.

L'usine de Tunis possédait quatre moteurs Crossley et trois gazogènes, et elle disposait de plus de 400 chevaux.

Cet exemple a été suivi de divers côtés : en composant une station de plusieurs unités, de puissance diverse, on gardait toutes facilités pour faire changer la puissance développée suivant l'heure et les besoins, et l'on se procurait un bon coefficient d'utilisation et une grande capacité de surcharge.

Les moteurs à gaz sont susceptibles de multiples applications pour l'éclairage de cercles, de casinos, de magasins, qui ont besoin de beaucoup de lumière et trouvent un bénéfice réel à la produire par leurs propres moyens.

Des établissements industriels s'en sont servis pour constituer des éclairages de secours.

Dans la plupart des manufactures, la force motrice et l'éclairage général ne sont pas indispensables pendant le temps qui s'écoule entre l'entrée des ouvriers dans l'usine et leur arrivée à leur place de travail; pendant la sortie, il n'est également besoin que d'un éclairage partiel. Par suite, le moteur principal de l'usine peut n'être mis en marche qu'après l'heure de l'entrée, et être arrêté avant l'heure de la sortie, si l'on dispose d'un moteur auxiliaire assurant l'éclairage partiel. Le circuit d'éclairage partiel peut d'ailleurs être encore de la plus grande utilité, pour éviter que l'usine ne soit complètement plongée dans l'obscurité, en cas d'arrêt fortuit du moteur principal.

M. Curje a fait ressortir, dans *l'Électricien* du 2 août 1902, l'avantage qu'on trouve à employer un moteur à gaz en cette qualité de moteur auxiliaire, et il cite l'exemple d'une grande filature du Nord, dans laquelle il a réalisé son idée.

L'éclairage général de la filature et la commande des machines-outils de l'atelier de réparations sont assurés par une dynamo de 250 ampères à 120 volts, commandée par la machine à vapeur principale. Dans l'atelier de réparations, on a disposé un moteur à gaz de 5 chevaux et une dynamo compound de



30 ampères, 115 volts; en outre, on a établi un circuit spécial sur lequel sont branchées les lampes assurant l'éclairage partiel ou de secours. Ce circuit est relié automatiquement au circuit général, quand la machine à vapeur est en marche; il est directement branché aux bornes de la petite dynamo quand, le moteur à vapeur étant arrêté, le moteur à gaz est seul en fonction. Au moment de l'entrée des ouvriers, à 6 heures du matin, ce dernier moteur est mis en marche et assure l'éclairage partiel jusqu'à 6 h. 30; il est maintenu en marche à vide jusqu'au lever du soleil, afin de parer instantanément à un arrêt intempestif du moteur à vapeur, lequel est en marche à 6 h. 30. Le soir, à partir du moment où l'obscurité serait dangereuse en cas d'accident au moteur à vapeur, le moteur à gaz est de nouveau mis en marche à vide; dès l'heure de la sortie des ouvriers, le moteur à vapeur est arrêté et le moteur à gaz assure l'éclairage partiel. En cas de chômage de l'usine, le moteur à gaz actionne par courroie la transmission de l'atelier de réparations ordinairement commandée par un moteur électrique alimenté par le circuit principal.

La dépense de gaz, pendant une campagne de six mois, a été de 22 fr. 80 pour cent trente-quatre heures de marche du moteur; elle est insignifiante dans l'espèce.

A défaut de gaz, on pourrait employer un moteur à pétrole ou à essence : j'ai installé de semblables postes de secours dans plusieurs industries, notamment dans une malterie, dont les moteurs étaient desservis par un secteur, mais qui souffrait de pannes fréquentes, nuisibles à sa fabrication.

Les moteurs à gaz pauvre et à pétrole ont été employés assez largement autrefois dans de petites centrales, où ils étaient associés à des machines à vapeur alternatives; je ne m'arrêterai pas longuement sur ce sujet, attendu que ces petits établissements tendent à disparaître. Signalons, néanmoins, les usines de tramways électriques de Lausanne et de Zurich, où la consommation déterminée par des relevés mensuels n'atteignait pas un kilogramme par kilowatt-heure, y compris le combustible brûlé la nuit pour entretenir le feu dans les gazogènes.

Le prix de l'anthracite n'étant guère supérieur, en Suisse, à celui du charbon qu'on brûlerait dans le foyer d'une chaudière, on voit que l'emploi des moteurs à gaz pauvre procurait une grande économie sur les machines à vapeur.

Je pourrais citer encore les tramways d'Orléans, de Poitiers, de Cassel, etc. Dans la première de ces villes, des gazogènes Fichet et Heurtey alimentaient des moteurs Crossley de 165 chevaux, qui entraînaient les génératrices par accouplement Raffard. Une batterie, ayant une capacité de 450 ampères-heures, formait volant sur la canalisation. MM. Fichet et Heurtey avaient garanti une consommation de 625 grammes de charbon par cheval-heure effectif sur l'arbre des génératrices. D'après M. Thonet, la consommation de charbon revenait à 30 centimes le kilowatt-heure, le charbon coûtant 32 francs la tonne (1).

1. Union internationale des tramways, 12<sup>e</sup> assemblée tenue à Londres, en 1902; rapport de M. Thonet sur la 13<sup>e</sup> question.



Rappelons encore la remarquable station des tramways de Saint-Ouen actionnée par des moteurs-gazogènes de Winterthur, dans des conditions économiques extraordinaires, puisque le cheval-heure effectif a pu être obtenu, par 395 grammes d'anhracite de Bonne-Espérance. La puissance des moteurs était de 300 chevaux.

Dans un travail publié en 1902, M. Thonet estime qu'une station aux gaz pauvres coûte plus cher d'établissement qu'une autre à vapeur, et il cite les prix corrélatifs des deux systèmes pour une station centrale d'une ligne de 9 kilomètres, ayant une puissance de 370 kilowatts : pour le gaz, le kilowatt installé coûtait 600 francs, alors que pour la vapeur le devis ne dépassait pas 445 francs. L'écart nous paraît considérable. Mais il est largement racheté par les moindres dépenses d'exploitation. Ainsi, d'après le même ingénieur, le kilowatt-heure, pour une centrale de 200 chevaux, coûte 9 centimes par la vapeur et 5,5 centimes par le gaz; il cote cependant le charbon de chaudière à 17 fr. 50 et celui de gazogène à 35 francs. Ces conclusions sont encore exactes aujourd'hui.

Et pourtant le moteur à gaz pauvre est peu employé dans les stations actuelles.

Le moteur Diesel possède une clientèle plus étendue, surtout à l'étranger, et l'on ne peut reprocher à celle-ci de n'être pas avisée : je vais produire quelques chiffres qui en témoignent à l'évidence.

La station d'Aibach, en Bavière, est actionnée par deux moteurs Diesel, monocylindriques, d'une puissance de 80 chevaux effectifs chacun, alimentés d'huile de paraffine. Ce produit a un pouvoir inférieur de 9.910 calories au kilogramme : la consommation, déterminée par M. Boccali, ne dépasse pas 213 grammes par cheval-heure effectif. La régularité parfaite des moteurs a dispensé de monter une batterie d'accumulateurs : la lumière est très régulière. Étant donné que l'huile de paraffine ne coûte que 11 fr. 70 les 100 kilogrammes, on voit que l'emploi des moteurs Diesel conduit à une exploitation très économique de cette station (1).

Dans une étude déjà citée de M. Sengier, cet ingénieur mentionne un certain nombre de stations anglaises, actionnées par des Diesel (Greenock and Port Glasgow tramways, Rothesay tramways, Dudley and Stourbridge tramways, Guildford Electricity supply Co, Yardley-Birmingham, etc.). Arrêtons un instant notre attention sur cette dernière station, qui alimente de courant une ligne de tramways, à charge très variable, sans le concours d'aucune batterie, dans d'excellentes conditions. L'usine comprend quatre unités de 160 chevaux, verticales, à deux cylindres (diam. = 412 millim.; course = 0 m. 600), tournant à 180 tours : les volants pèsent 14 tonnes. Deux groupes débitent continuellement; aux heures de surcharge, on en fait débiter trois en parallèle; le samedi après midi et le dimanche, les quatre groupes sont en service. Des essais de consommation ont été poursuivis pendant de longues périodes, de cent jours

1. *Zeitschrift des Bayerische Revisions-Verein*, n° 16, 1903.



et plus : les résultats présentent donc un caractère pratique et réel indiscutable. Voici un ensemble de données relevées en novembre 1905 :

|   |                     |
|---|---------------------|
| Kilowatts-heures produits.....            | 86.812              |
| Charge maximum.....                       | 400 kw.             |
| Prix de la tonne (1.016 kg.) d'huile..... | 66,35               |
| Combustible par kilowatt-heure.....       | 317 gr.             |
| Coefficient de charge.....                | 0,32                |
| Dépenses : en pétrole.....                | 2 <sup>cm</sup> ,08 |
| — eau, graisse, etc.....                  | 0 ,292              |
| — entretien.....                          | 0 ,396              |
| — salaires.....                           | 0 ,98               |
| — appointements.....                      | 0 ,14               |
| Dépenses totales par kilowatt-heure.....  | 3 <sup>cm</sup> ,89 |

Le k. w. h. ressort donc net à 3,89 centimes; on n'a pas estimé les frais d'intérêt et d'amortissement du capital engagé. Pour apprécier ce prix, il faut le rapprocher de ceux que l'on relève dans de puissantes centrales anglaises, mues par turbines à vapeur; on signale 5,32 centimes à Glasgow pour un débit de 16.291.082 kwh annuellement, et 7,1 à Liverpool, le débit atteignant 26.015.062 kwh. Ces comparaisons ne peuvent être admises sans commentaires, attendu que certaines conditions ne sont pas égales, notamment le coefficient de charge, qui est un facteur économique de première importance dans l'espèce. Les chiffres que nous venons de reproduire sont néanmoins très significatifs, et ils montrent quel rôle le moteur Diesel est appelé à jouer dans la production du courant électrique.

On pourrait citer en tous pays d'excellentes applications du moteur Diesel en stations centrales (1). Il y convient parfaitement; comme preuve, nous citerons des essais, effectués sur une machine sortie des ateliers de MM. Sulzer frères, de Winterthur, actionnant un alternateur Brown-Boveri. Elle se compose de trois cylindres de 380 millimètres d'alésage et 0 m. 560 de course, et peut développer 160 kilowatts par 186 révolutions à la minute. Avec un moment d'inertie du volant de 90.000 Kg-m<sup>2</sup>, le coefficient d'irrégularité obtenu était de 1/250. Or, voici les résultats que l'on a relevés :

*En surcharge.*

|  |              |
|--|--------------|
| Consommation de pétrole par cheval-heure effectif..... | 189 grammes. |
| — — kilowatt-heure.....                                | 281 —        |

*En charge.*

|  |              |
|--|--------------|
| Consommation de pétrole par cheval-heure effectif..... | 188 grammes. |
| — — kilowatt-heure.....                                | 280 —        |

1. La maison Sulzer cite dans sa *Revue technique* de mars 1920, 28 stations centrales équipées par elle en moteurs Diesel, d'une puissance totale de 89.530 chevaux. La station de Brème peut être donnée comme un type du genre; elle comprend deux Diesel à deux temps, développant 3.000 chevaux chacun par 136 révolutions à la minute et actionnant des alternateurs-volants triphasés, calés sur l'arbre de couche. A Belfast, on a mis en service un moteur à six cylindres de 4.000 chevaux.



*En demi-charge.*

|  |              |
|--|--------------|
| Consommation de pétrole par cheval-heure effectif..... | 221 grammes. |
| — — kilowatt-heure.....                                | 350 —        |

*En cinquième de charge.*

|  |              |
|--|--------------|
| Consommation de pétrole par cheval-heure effectif..... | 338 grammes. |
| — — kilowatt-heure.....                                | 642 —        |

En Suisse, le kilowatt-heure peut être obtenu ainsi au prix de 2,35 centimes de pétrole. En France, il ressortirait à près de 0,10 centimes, ce qui est un prix souvent rédhibitoire et condamne l'emploi du pétrole, même par les moteurs les plus avantageux. Mais on arrivera sans doute à utiliser des huiles de schiste et de goudron ou d'autres carbures, qui ne sont pas encore grevés d'aussi lourds impôts.

Autrefois, ces huiles étaient sujettes à d'incessantes variations de composition, et elles ne présentaient pas une sécurité suffisante pour leur emploi : ce temps n'est plus, et les fabriques de produits chimiques luttent maintenant avec les usines à gaz et les cokeries, pour préparer des huiles ayant la fixité de composition et la valeur calorifique requises pour entrer définitivement dans la pratique. Les huiles de houille, de densité moyenne égale à 0,90, ont un pouvoir moyen de 9.800 calories. Alors que les huiles de Galicie doubleraient de prix en quelques années, elles ne subissaient qu'une légère augmentation; en 1914, on pouvait avoir en France de ces huiles au prix de 8 à 9 francs les 100 kilogrammes.

Dans ces conditions, le moteur Diesel constituait d'excellentes unités de complément et de réserve : il trouvait son meilleur argument dans cette loi des centrales, que le facteur de charge de la consommation est d'autant plus élevé que les machines génératrices sont plus nombreuses et plus variées. On pouvait aussi invoquer en sa faveur sa faible consommation aux charges réduites, ce qui le met en bonne position dans les stations dont le facteur de charge est faible.

Le moteur Diesel a contre lui de coûter cher d'établissement. D'après M. Courtoy (1), une même unité de 1.000 kilowatts coûterait en turbine 260.000 francs, en moteurs à gaz 388.000 francs et en Diesel 470.000 francs : ces chiffres me paraissent forcés pour les moteurs à combustion interne et je serais disposé à les réduire sensiblement. Malgré cela, on peut admettre comme démontré que l'emploi du pétrole conduit à de plus grands frais d'installation, qui contrebalancent en partie l'économie réalisée du chef de l'entretien et de la consommation. On peut aussi faire entrer en ligne de compte que, pour chaque type de machine, le prix au kilowatt-heure installé diminue rapidement avec l'accroissement de la puissance des unités; ainsi en turbine l'unité de 20.000 kilowatts coûte par kw. la moitié de l'unité de 1.000 kilowatts. Le Diesel se trouve ainsi fortement handicapé par la turbine à vapeur, pour laquelle

1. COURTOY, *Production économique de l'électricité dans les régions industrielles*, Paris et Liège, Béranger, éditeur, 1919.



on dépasse maintenant 30.000 kilowatts par unité. Il ne paraît donc pas qu'avec ses cylindres à 200 kilowatts il puisse soutenir la concurrence que lui font les énormes groupes électrogènes à vapeur. Il paraît condamné à garder le rôle et le rang de machine de complément et de secours.

Sur ce terrain, nous le rencontrons avec les moteurs à essence, qui trouvent aussi avantageusement leur place dans les puissantes centrales, à titre subsidiaire.

Les moteurs à pétrole et à essence peuvent très bien servir de machines auxiliaires, destinées à n'être utilisées que d'une façon exceptionnelle, pour parer notamment et pour suppléer à des pannes accidentelles des petites stations centrales : des moteurs légers, peu encombrants, sont tout indiqués pour cet emploi, alors même que leur consommation serait supérieure à ce qu'on demanderait d'une machine devant fournir un travail continu. Des moteurs ultra-légers d'aviation ont trouvé une application industrielle avantageuse dans cet ordre d'idées. Machines présentant un faible encombrement, construites avec un soin tout particulier, généralement fort robustes, toujours bien équilibrées, elles se sont prêtées, depuis la guerre, surtout dans les industries des régions dévastées, à de très intéressantes applications ; elles y ont rendu de remarquables services, grâce à quelques modifications qui ont permis de les adapter aux services nouveaux auxquels on les employait.

Et d'abord, pour diminuer leur usure, on a été amené à diminuer les compressions et les vitesses ; la compression a été abaissée à trois ou quatre kilogrammes, en changeant les pistons, et leur vitesse angulaire a été réduite de moitié. Il en est résulté, évidemment, un certain accroissement de consommation, et leur dépense, qui était inférieure souvent à 250 grammes, a été portée à 300 grammes environ, chiffre acceptable pour une installation de secours.

La durée des mécanismes a été augmentée par le remplacement de quelques pièces plus fragiles, indispensables pour un moteur de navigation aérienne, mais inutiles pour un fonctionnement industriel à poste fixe. On a pu, dans certains cas, les alimenter sans trop d'inconvénients d'huiles plus lourdes que les essences, et quelques constructeurs ont été jusqu'à en faire des moteurs à gaz pauvre, ce qui était inespéré.

Ces transformations ont été apportées notamment à des moteurs Renault, à 12 cylindres, en V, qui ont donné toute satisfaction à l'usage. On en a fait très heureusement des groupes électrogènes, développant 125 kilowatts par 1.000 tours (au lieu de 1.400), à réfrigération par circulation d'eau, avec mise en route à l'air comprimé, permettant de les faire fonctionner dès que besoin en était.



#### 4. Grandes Centrales minières et métallurgiques.

Je ne reviendrai pas sur les avantages que procure l'emploi des gaz de four à coke et de hauts fourneaux pour la commande des grandes centrales minières et métallurgiques (1). Alimentés ainsi, les puissants moteurs à gaz produisent, à égalité de consommation, deux fois autant de puissance qu'en passant par l'intermédiaire des générateurs et machines à vapeur les plus perfectionnés. En comptant un intérêt du capital d'établissement de 5 % et un amortissement de 10 %, le prix du kilowatt-heure s'établit à un prix qui ne dépasse guère un centime.

C'est par les gaz de la métallurgie que le moteur à gaz triomphe : ici le succès est complet, et l'avenir lui appartient, sans contestation possible. Mes derniers essais, effectués sur des groupes électrogènes français de la Société Alsacienne et du Creusot ont établi que le cheval-heure effectif correspondait à environ 2.100 à 2.200 calories, le gaz étant estimé au *pouvoir supérieur* déterminé par ma bombe eudiométrique; quel moteur à vapeur peut revendiquer un pareil rendement?

Le plus vaste champ d'applications s'ouvre donc devant le moteur à gaz dans la métallurgie. En effet, d'après une statistique de *Stahl und Eisen* (1908), les hauts fourneaux et les fours à coke du monde créent une disponibilité de 9.695.500 chevaux; or, il n'y avait guère, à cette époque, qu'un million de chevaux utilisés. L'Amérique produisait alors 4.050.000 chevaux, l'Allemagne 2.100.000 et la France 435.000. Depuis lors, ces puissances ont été grandement dépassées et notre pays occupe un rang un peu moins effacé dans cette marche au progrès, où il s'était laissé devancer par des concurrents plus actifs et plus entreprenants; la réannexion de la Lorraine nous a, du reste, apporté un appoint considérable que nous saurons encore développer.

La construction allemande avait conquis le marché européen des grands moteurs. A elle seule, la Société de Nuremberg avait déjà sorti 365.455 chevaux, en 1908, répartis ainsi qu'il suit, par industries et par catégories de machines :

##### *Industries.*

|                                    | PUISSANCES       |      |
|------------------------------------|------------------|------|
|                                    |                  |      |
| Établissements métallurgiques..... | 285.645          | 78 % |
| Mines.....                         | 51.210           | 14   |
| Stations d'électricité.....        | 28.600           | 8    |
|                                    | <hr/>            |      |
|                                    | 365.455 chevaux. |      |

1. Voir ci-dessus, tome I, pages 52 et 272, et suivantes.



*Machines actionnées.*

|                                 | PUISSANCES       |      |
|---------------------------------|------------------|------|
|                                 |                  |      |
| Génératrices d'électricité..... | 273.231          | 73 % |
| Soufflantes.....                | 86.474           | 23   |
| Laminoirs.....                  | 3.900            | 1,5  |
| Transmissions d'énergie.....    | 1.850            | 0,5  |
|                                 | <hr/>            |      |
|                                 | 365.455 chevaux. |      |

Nombreux étaient, d'ailleurs, les ateliers qui s'étaient spécialisés avec succès dans cette branche fructueuse de la mécanique. Les maisons anglaises entraient lentement et presque à contre-cœur dans le mouvement, à la veille de la guerre, alors que les firmes américaines en prenaient résolument la tête.

Les groupes électrogènes constituaient l'application la plus fréquente : ils se sont maintenus à côté des turbo-moteurs, auxquels ne reste, à vrai dire, que l'avantage du minimum d'encombrement.

J'emprunte à l'ouvrage si documenté de M. Courtoy les renseignements qui suivent sur le réseau de Centrales du bassin de Liège. Il comprend cinq grandes centrales métallurgiques, 42 de charbonnages, deux centrales thermiques et une centaine d'autres moins puissantes, qui alimentent des tramways et divers ateliers. Notons que ce bassin, habité par plus d'un demi-million d'hommes, produit annuellement 4.275 millions de mètres cubes de gaz de haut fourneau, et 238 millions de mètres de gaz de four à coke. Ce pays était donc prédestiné à l'emploi des moteurs à gaz.

Or, voici les puissances installées en 1913 en moteurs de toute espèce :

|                            |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| Usines métallurgiques..... | 49.632 kilowatts.        |
| Charbonnages.....          | 16.400 —                 |
| Stations thermiques.....   | 17.200 —                 |
| <b>TOTAL.....</b>          | <b>83.232 kilowatts.</b> |

Les usines métallurgiques utilisent les gaz de fourneaux et de fours ; les charbonnages, les gaz de fours et la houille ; les centrales thermiques exclusivement la houille.

Ces installations comportent des moteurs à gaz, des turbines à vapeur et des machines à piston, une turbine mixte et un moteur Diesel. Voici les puissances développées par les divers genres de moteurs :

|                    |   |  |                   |
|--------------------|---|--|-------------------|
| Moteurs à gaz.     | { | Gaz de haut fourneau.....                    | 25.992 kw.        |
|                    | { | — four à coke.....                           | 3.800 —           |
| Turbines.          | { | Vapeur produite par le gaz de haut fourneau. | 13.990 —          |
|                    | { | — — charbon.....                             | 30.150 —          |
|                    | { | — d'échappement.....                         | 900 —             |
| Machines à piston. | { | Vapeur produite par le gaz de haut fourneau. | 5.050 —           |
|                    | { | — — charbon.....                             | 3.650 —           |
| Moteur Diesel      | { | Pétrole.....                                 | 300 —             |
|                    |   | <b>TOTAL.....</b>                            | <b>83.832 kw.</b> |



En somme, il y a 35,8 % de la puissance totale installée en moteurs à gaz, la puissance de la plus grosse unité moteur à gaz étant de 4.750 kilowatts; la plus forte turbine à vapeur développe 6.000 kilowatts.

Le courant est débité par trois stations sous forme de continu à 500 volts, les autres fournissant du triphasé 50 périodes, sous un voltage qui varie de 2.100 à 6.300 volts.

Les dépenses annuelles totales inhérentes au groupement sont estimées à près de 500.000 francs. On escompte un bénéfice dépassant le million : il équivaut à 34 % du capital engagé. En admettant un facteur d'utilisation de 50 %, le kilowatt-heure engendré par les moteurs à gaz serait cédé au réseau au prix d'environ 1,8 centime.

L'exemple que nous venons de donner du rôle qui est réservé aux grands moteurs à gaz dans les centrales minières et métallurgiques nous dispense d'insister davantage sur les applications qu'on en fera dans l'avenir.

Le plus grand reproche que l'on fasse à ces belles machines est relatif à leur encombrement; il est grand, relativement aux turbos, mais il ne faudrait pas exagérer cet argument. Pour mettre exactement les choses au point, nous extrayons d'un prospectus de la Société Alsacienne les chiffres qui suivent :

*Machines tandem.*

|                           |           |           |           |           |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Puissance en chevaux..... | 1.230     | 1.530     | 2.000     | 2.400     |
| Tours par minute.....     | 100       | 93        | 93        | 83,5      |
| Longueur totale.....      | 17 m. 510 | 18 m. 680 | 20 m. 150 | 21 m. 950 |
| Largeur maximum.....      | 6 m. 300  | 6 m. 600  | 7 m. 000  | 7 m. 500  |

*Machines tandem jumelées.*

|                           |           |           |           |           |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Puissance en chevaux..... | 2.460     | 3.200     | 4.100     | 5.000     |
| Tours par minute.....     | 100       | 93        | 93        | 83,5      |
| Longueur totale.....      | 17 m. 150 | 18 m. 680 | 20 m. 150 | 21 m. 950 |
| Largeur maximum.....      | 8 m. 720  | 9 m. 300  | 9 m. 800  | 10 m. 350 |

On a construit récemment des machines plus puissantes, mais la puissance des groupes électrogènes dépasse rarement 7.000 chevaux par unité, et il n'y a guère lieu de chercher à faire plus grand; l'économie qu'on pourrait réaliser sur les dépenses de premier établissement serait compensée par les difficultés de conduite et de surveillance des machines. Nous avons dit précédemment que le rendement ne croît pas avec la puissance; d'autre part, la visite des organes et leur démontage devient beaucoup plus pénible. Une installation, composée de plusieurs moteurs de diverse puissance, permet de ne mettre en marche que le nombre de machines nécessaires à tout moment pour assurer le service des usines; les moteurs de rechange, dont on ne saurait se passer, sont moins importants. Ces diverses considérations présentent une sérieuse utilité dans l'espèce.

Pour employer convenablement les génératrices d'électricité, il est recommandable de leur donner une puissance strictement égale à la puissance nominale



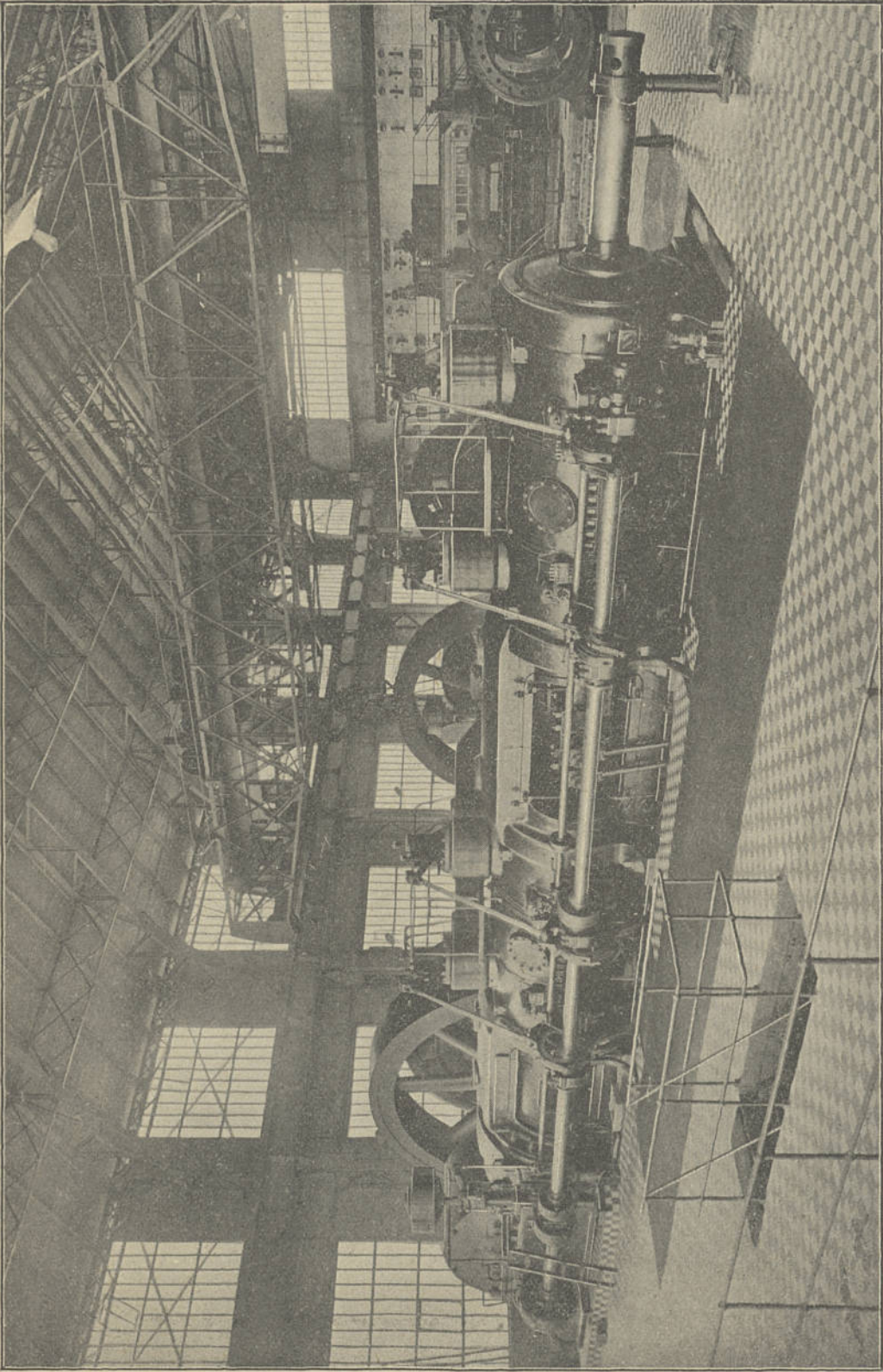


Fig. 370. — Groupe électrogène de la Société Alsacienne.



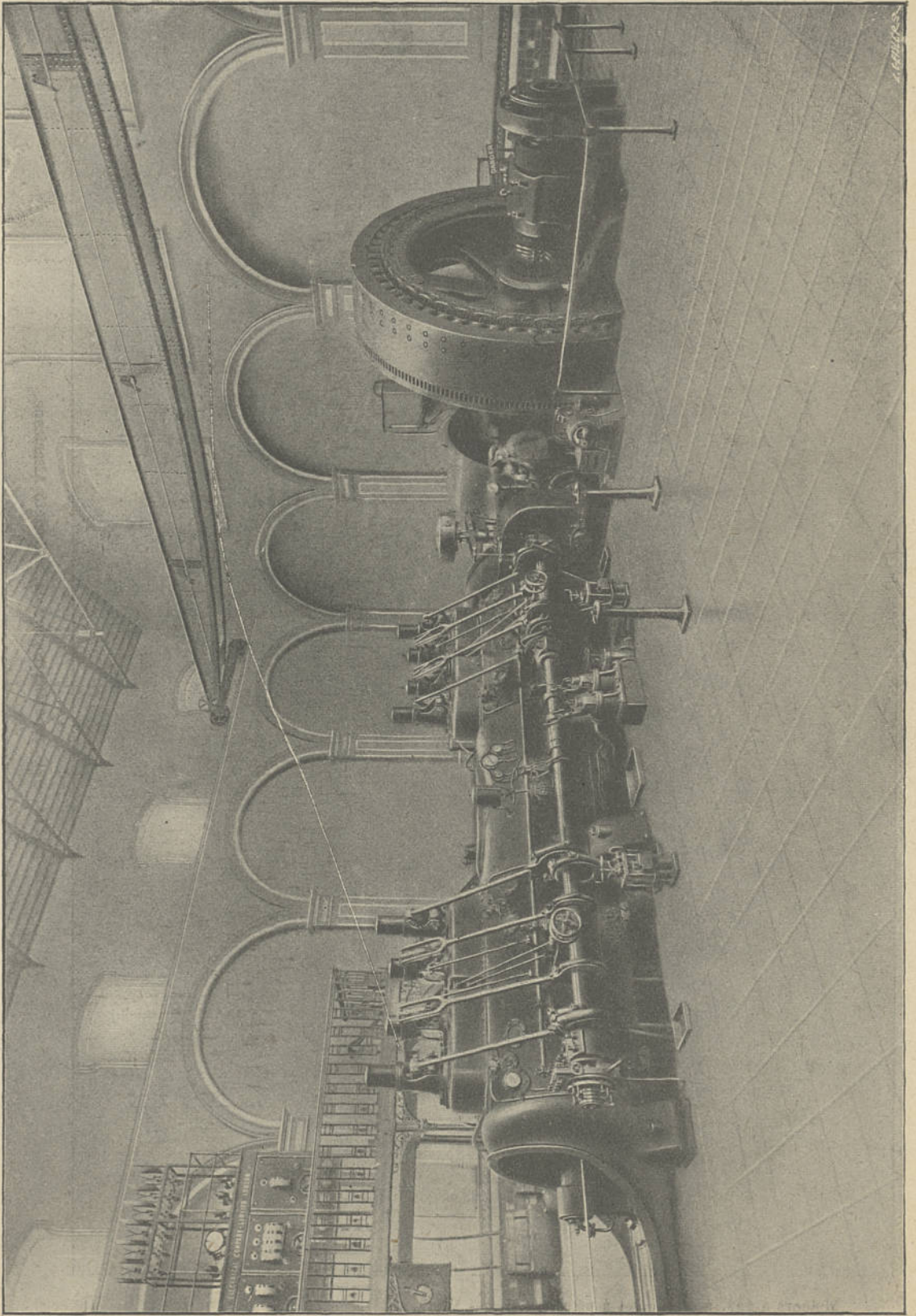


Fig. 371. — Groupe électrolytique de Nuremberg.



du moteur qui les actionne; en effet, celui-ci a une capacité de surcharge d'au plus 5 %, alors que la génératrice en a généralement 15 ou 20.

Les génératrices à courant continu, dont l'induit est toujours en une pièce, ont besoin d'un volant pour réaliser le coefficient d'irrégularité de 1/250; le rotor des alternateurs peut, au contraire, être construit en plusieurs pièces et faire volant par lui-même. Pour les alternateurs à inducteur tournant extérieur, les dimensions du stator peuvent être très réduites.

Les régulateurs doivent être calculés de façon à ce que la différence des vitesses moyennes en charge et à vide ne dépasse pas 4 %, les variations étant de 2 % en marche industrielle.

Les figures 370, 371, 372, que nous devons à l'obligeance des constructeurs, font voir la disposition la plus habituelle de ces machines.

Les moteurs à gaz ont aussi trouvé une remarquable application dans la commande directe des soufflantes. Ces groupements, que l'on désigne par le nom de soufflantes à gaz, se sont développés beaucoup en ces dernières années : la maison Siegener M. A. G., qui s'était fait une spécialité des soufflantes à vapeur, a presque entièrement renoncé à la vapeur pour donner la préférence aux gaz. De son catalogue, qui est extrêmement instructif, nous croyons utile d'extraire quelques chiffres relatifs aux données de construction des soufflantes à gaz, actionnées par les Kœrting à deux temps.

*Moteurs à deux temps.*

| MOTEURS             | DIAMÈTRE    | DIAMÈTRE    | COURSE | VOLUME       | PRESSION  | APPLICATION |
|---------------------|-------------|-------------|--------|--------------|-----------|-------------|
|                     | DU CYLINDRE | DU CYLINDRE |        |              |           |             |
|                     | à gaz       | à vent      |        | D'AIR ASPIRÉ | DU VENT   |             |
|                     |             |             |        | par minute   | en Hg.-m. |             |
|                     | mm.         | mètres      | mètres | mètres cubes |           |             |
| Monocylindrique.... | 675         | 1,600       | 0,950  | 1.200        | 0,65      | Haut fourn. |
| Jumelé.....         | 800         | 2,100       | 1,400  | 450          | 0,5 à 1   | —           |
| Monocylindrique.... | 870         | 2,250       | 1,400  | 600 à 850    | 0,4 à 1   | —           |
| — .....             | 900         | 2,000       | 1,400  | 600          | 0,7 à 1,5 | Acierie.    |
| — .....             | 1.100       | 2,250       | 1,400  | 1,000        | 0,6 à 1   | Haut fourn. |

Nous rapprochons ci-dessous de ces données quelques autres relatives à des soufflantes mues par des moteurs à quatre temps à double effet.

*Moteurs à quatre temps.*

| DIAMÈTRE          |                      | Course des pistons | Nombre de tours par minute | Volume d'air débité par minute | Pression du vent | Puissance en chevaux effectifs | RENDEMENTS |              |
|-------------------|----------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------|--------------|
| Cylindres moteurs | Cylindres soufflants |                    |                            |                                |                  |                                | Organique  | Volumétrique |
| mm.               | mètres               | mètres             |                            | m <sup>3</sup>                 | cm.              |                                |            |              |
| 950               | 2,200                | 1,400              | 40                         | 417                            | 30 Hg.           | 417                            | 0,65       | 0,98         |
| »                 | »                    | »                  | 72                         | 750                            | 45 —             | 1.000                          | 0,80       | 0,97         |
| 925               | 1,800                | 1,200              | 72                         | 800                            | 30 —             | 1.025                          | 0,80       | »            |
| »                 | »                    | »                  | 90                         | 1.000                          | 40 —             | 1.245                          | »          | »            |
| 1,000             | 1,700                | 1,100              | 72                         | 700                            | 2 atm.           | 2.100                          | 0,80       | »            |



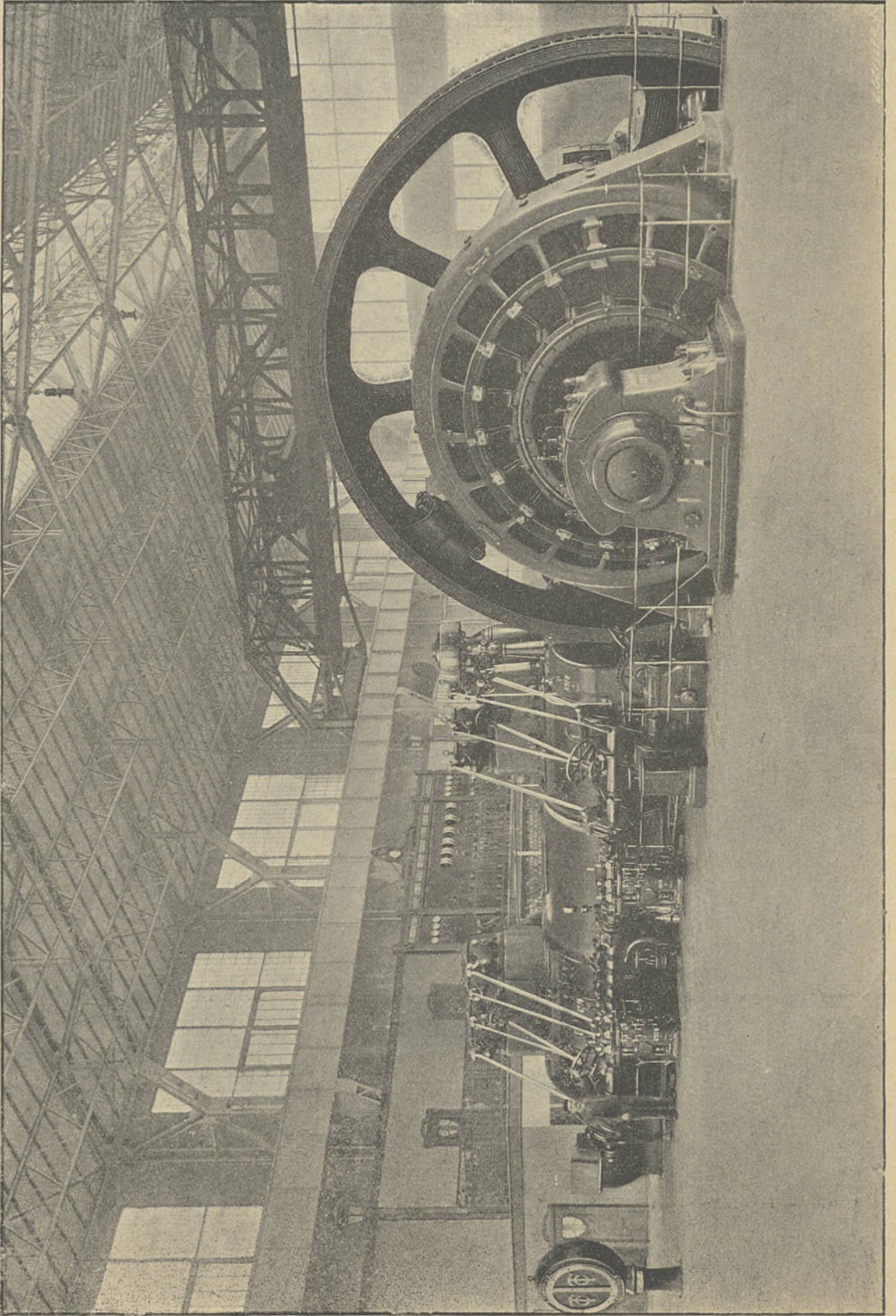


Fig. 372. — Groupe électrostatique Thysse.



La plupart des constructeurs de moteurs ont établi aujourd'hui des modèles de soufflantes : la figure 373 fait voir en coupe un cylindre soufflant de Nurem-

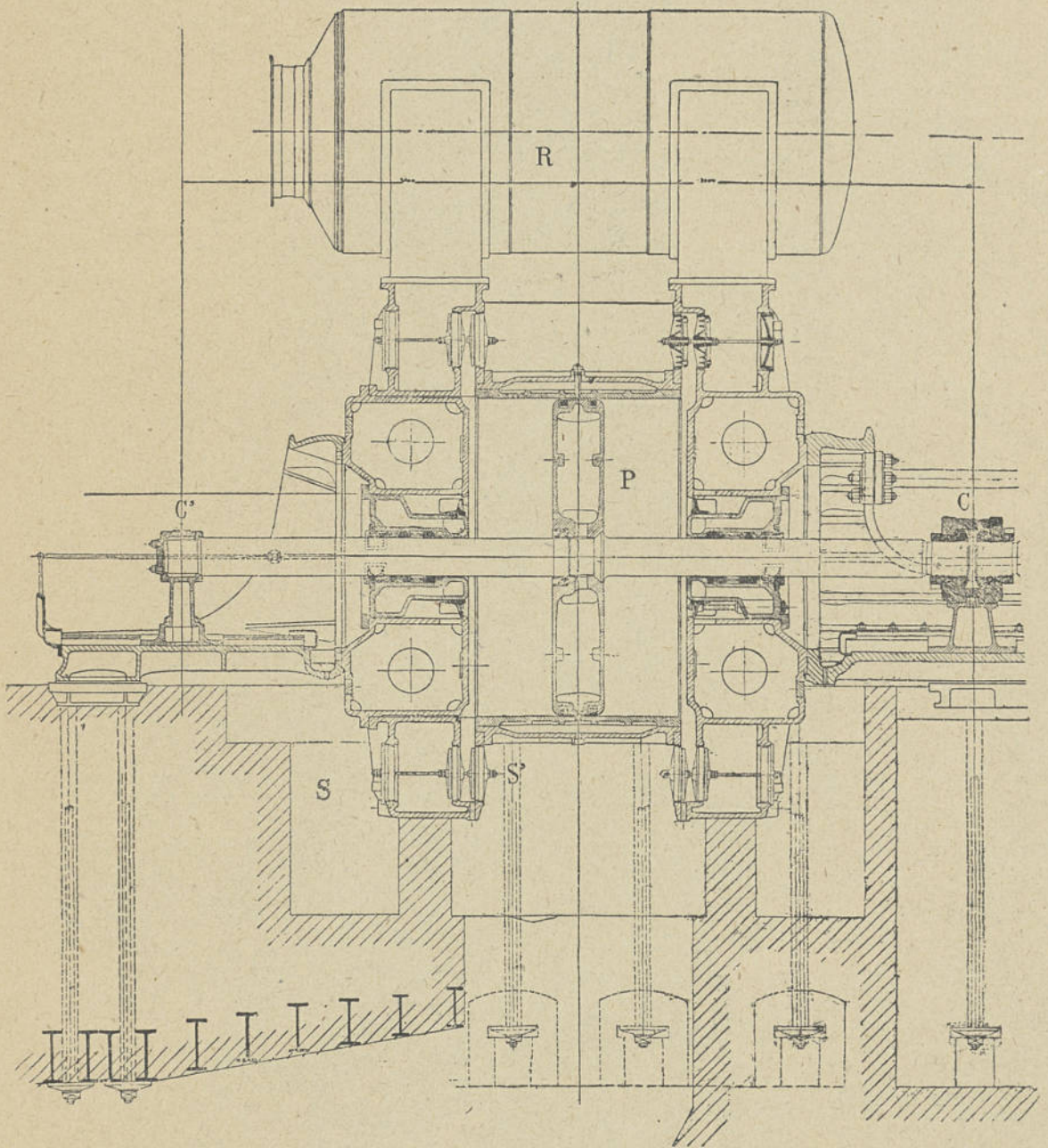


Fig. 373. — Soufflante de Nuremberg.

berg : les figures 374 et 375 présentent en élévation une soufflante de Dahlbruch (système Kœrting à deux temps) et une autre à quatre temps parfaitement étudiée de la Société Cockerill. La Société Alsacienne et le Creusot ont des



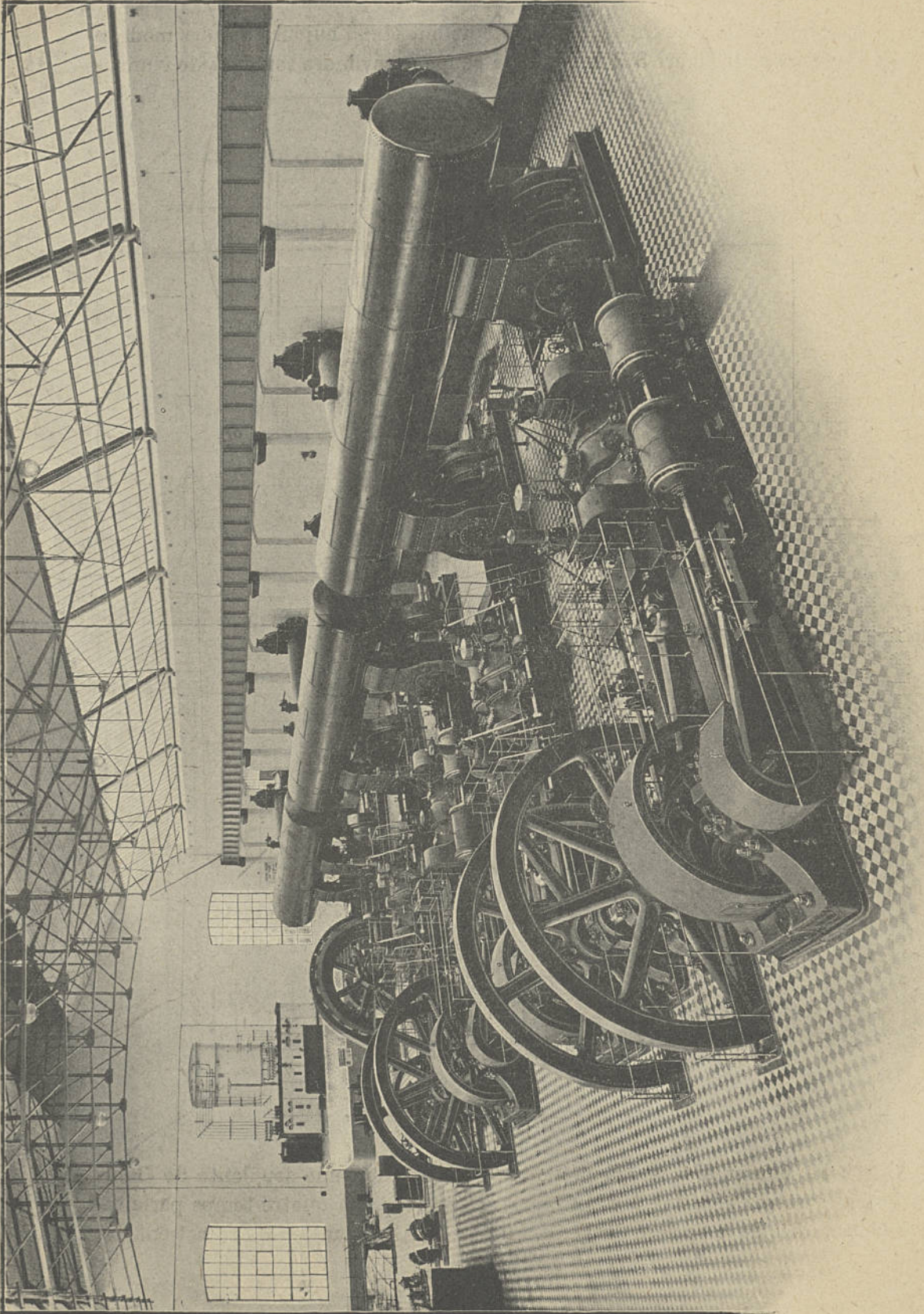


Fig. 374. — Soufflante de Dahlbruch.



types analogues. L'étude de ces machines a été assez laborieuse; elle a posé, en effet, des problèmes nouveaux qu'il a fallu résoudre.

Voici, en peu de mots, la position actuelle de la question.

Il faut d'abord distinguer entre les soufflantes de hauts fourneaux et celles d'aciéries. La soufflante de fourneau a, en général, à satisfaire aux conditions d'une marche régulière et continue; de temps à autre, on a besoin d'augmenter la pression du vent et d'activer la vitesse. Les soufflantes des aciéries donnent le vent au contraire sous une pression beaucoup plus élevée; elles doivent se prêter à des variations incessantes de la pression du vent et de sa masse, et tolérer des marches intermittentes. Remettre en route à tout instant était fort gênant; on préféra laisser tourner les machines continûment, en envoyant le vent à l'atmosphère; il suffisait pour cela d'installer une valve à changement de direction; c'est ce qui a été fait, à Rombach, par la Société de Nuremberg et imité depuis lors de divers côtés.

La disposition horizontale des soufflantes a prévalu en Europe; le cylindre soufflant est solidement assemblé au cylindre moteur par des armatures, qui garantissent un centrage parfait.

Les modifications de puissance ne peuvent guère s'obtenir que par variation de vitesse: en effet, il serait difficile de diminuer dans les proportions voulues la pression moyenne sur le piston moteur en atténuant le mélange, au-dessous d'une certaine limite, sans aboutir à des combustions imparfaites, fâcheuses à tous égards. L'admission variable a elle-même ses limites, qui ne permettent pas de prolonger pendant un trop long intervalle de temps les faibles introductions de mélange.

Ces variations de vitesse s'effectuent d'habitude directement à la main: le moyen est plus pratique et plus sûr que de faire agir un régulateur à fonctionnement automatique. Il est à remarquer, d'ailleurs, qu'un régulateur n'a guère de raison d'être sur une soufflante, dont on fera varier la vitesse de 30 à 90 tours, qui n'a pas besoin d'une grande régularité et qui n'est pas exposée à s'emballer. Il suffirait à ce dernier égard de munir le moteur d'un dispositif de sûreté coupant l'allumage pour une vitesse déterminée.

Lorsqu'on modifie la vitesse du moteur, la teneur du mélange change, même dans les machines à mélange constant, malgré toutes les précautions prises; aussi le réglage quantitatif est-il moins indiqué dans l'espèce que le réglage qualitatif. La contre-pression dans les conduites d'échappement varie du reste avec la vitesse; c'est ce qui a amené certains constructeurs à faire du balayage, et à recourir à des dispositifs spéciaux pour faire déboucher les produits de la décharge dans la conduite générale.

Nous venons de dire que le réglage qualitatif semblait *a priori* mieux convenir aux moteurs de soufflantes: et pourtant il faut reconnaître que la constance de la compression qu'il procure, constance si avantageuse en général, devient une gêne dans le cas présent; en effet, quand on marche à vitesse réduite, l'énergie



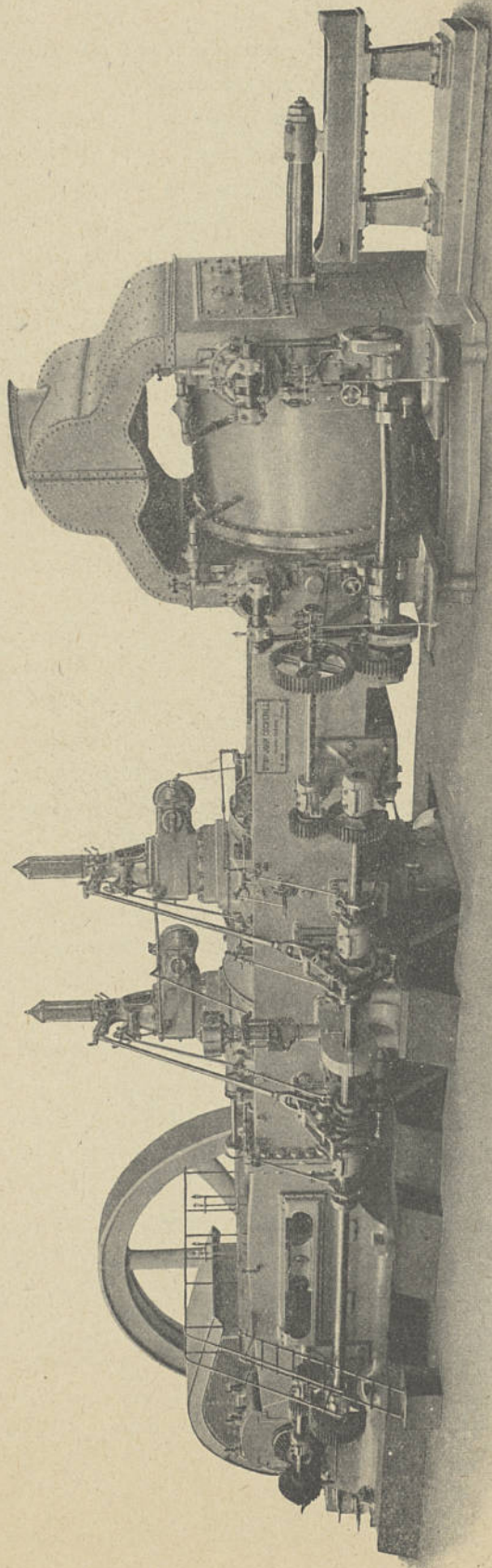


Fig. 375. — Soufflante Cockerill.



emmagasinée dans la jante diminue très rapidement avec le carré de la vitesse à cette jante, alors que l'effort à développer au début de la course ne diminue pas; aussi arrive-t-il que le volant ne puisse plus franchir le point mort, ou bien qu'il suffise d'un raté pour arrêter le moteur. C'est l'inconvénient qu'ont présenté certaines soufflantes du début, dont le cylindre soufflant avait reçu des dimensions exagérées, ou qui débitaient le vent à une pression trop élevée. Aussitôt qu'on leur demandait plus de travail qu'il ne convenait, le moteur se calait.

On cherche, dans les soufflantes, à conserver constante la puissance consommée par le compresseur, quelle que soit la pression du vent : on y arrive de deux façons; ou bien l'on diminue, par le moyen d'une coulisse, le volume d'air aspiré, ou bien encore on réduit le coefficient de rendement volumétrique en augmentant la capacité des espaces morts, par l'adjonction d'espaces surnuméraires. La surface du diagramme relevé sur le soufflet doit rester la même (1).

Les dimensions adoptées par les divers constructeurs sont à peu près identiques : nous donnerons comme exemple les données de construction de la soufflante de la Société Alsacienne de 2.150 chevaux.

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| Diamètre des cylindres moteurs..... | 1.200 mm. |
| — du cylindre à vent.....           | 2.600 mm. |
| Course commune des pistons.....     | 1 m. 400  |
| Nombre de tours par minute.....     | 80        |

Les soufflantes à gaz donnent généralement de très bons résultats, mais les souffleries rotatives, actionnées par des turbines à vapeur ou par des moteurs électriques, viennent de se mettre récemment en travers de leur voie et les menacent dans leur expansion. En empruntant l'énergie à une station centrale, utilisant directement dans des moteurs à gaz les gaz des fourneaux ou des fours, on peut réaliser des conditions assez économiques de production et de transport de la puissance motrice, et l'on bénéficie d'autre part des nombreux avantages des appareils rotatifs, peu encombrants, très concentrés, donnant une pression très régulière et un débit de vent réglable à volonté. Les soufflantes à piston actionnées directement par moteur à gaz seraient menacées peut-être, si les compresseurs multicellulaires amélioraient encore légèrement leur rendement.

Les stations centrales des établissements métallurgiques distribuent l'énergie à toutes leurs machines, voire même aux trains de laminoirs.

Des moteurs Kœrting à deux temps ont été appliqués à la commande directe des trains; cette application faite par la M.-A.-G. Dahlbruch (autrefois frères Klein) est assurément inattendue et fort étonnante : elle a conduit au réchauffement des enveloppes par un serpentin de vapeur, pratique dont nous avons déjà fait mention pour les machines à fonctionnement intermittent.

1. « Erfahrungen im Bau und Betriebe von Gasgebläsen, » par MM. Herbert Baer et Hans Bonte, *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, n° 1, 1908. Ce travail est plein d'intéressantes considérations sur la question des soufflantes.







Groupes électrogènes et soufflantes sont généralement réunis dans de vastes halls, pourvus de ponts roulants, qui présentent les plus grandes facilités pour le montage des machines et les diverses manœuvres que nécessite l'examen fréquent de leurs organes. Le dessin de la figure 376 représente la grande salle des moteurs des aciéries de Longwy, telle qu'elle était avant la guerre; elle a été reconstruite sur un plus vaste plan encore, avec les additions nécessitées par le développement de ce grand établissement métallurgique.

Les Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de Denain-Anzin construisent une nouvelle station qui utilisera le gaz de quatre fourneaux de 300 tonnes, pour assurer le service de ces derniers et produire la puissance motrice nécessaire aux diverses parties des usines de la Société, usines qui avaient été entièrement détruites pendant l'occupation ennemie.

Les quatre fourneaux de 300 tonnes donneront par heure environ 230.000 mètres cubes de gaz à 900 calories, qui seront utilisés comme suit :

|                     |  |
|---------------------|--|
| 92.000 mètres cubes | pour appareils à chauffer le vent et pertes aux gueulards;   |
| 16.000 —            | pour l'alimentation de 4 soufflantes à gaz aspirant environ 1.000 mètres cubes par minute, à 75 tours, et refoulant à la pression de 45 à 50 centimètres de mercure;   |
| 66.000 —            | pour l'alimentation de 6 groupes électrogènes à gaz, double tandem de 2.870 kilowatts, soit de 4.100 chevaux-heures effectifs à 94 tours par minute;   |
| 56.000 —            | pour l'alimentation de 5 à 6 chaudières multitubulaires, de 480 m <sup>2</sup> , destinées à produire la vapeur nécessaire pour la marche de 2 groupes turbo-alternateurs de 4.800/6.000 kilowatts à 3.000 tours, et la production de l'eau distillée d'appoint. |

La puissance motrice, produite uniquement avec le gaz des hauts fourneaux, se décomposera comme suit :

|   | Puissance normale de marche. |
|---|------------------------------|
| 1° 7 groupes électrogènes à gaz de 2.870 kilowatts à 94 tours, dont 6 en marche.....  | 16.000 kw.                   |
| 2° 14 chaudières de récupération de 235 mètres carrés, timbrées à 13 kilogrammes, avec surchauffeurs, chauffées par les gaz d'échappement des groupes électrogènes à gaz (dont 12 en marche), et 4 chaudières semblables, chauffées par les gaz d'échappement des 4 soufflantes à gaz, alimentant 2 groupes turbo-alternateurs de 2.800/3.500 kilowatts, dont un en marche et l'autre en réserve. | 2.000 kw.                    |
| 3° 3 groupes turbo-alternateurs, de 4.800/6.000 kilowatts, dont 2 en marche, alimentés par la vapeur de 8 chaudières multitubulaires, de 480 m <sup>2</sup> , timbrées à 20 kilogrammes, avec surchauffeurs, économiseurs et réchauffeurs d'air, dont 5 ou 6 en marche.....   | 8.500 kw.                    |
| Puissance totale obtenue avec les gaz de hauts fourneaux disponibles.   | 26.500 kw.                   |

La puissance absorbée par les appareils accessoires étant de 1.500 kilowatts, dont 1.000 kilowatts environ par les laveurs désintégrateurs Theisen de l'épuration, la puissance utile développée par la station sera de :

$$26.500 - 1.500 = 25.000 \text{ kilowatts.}$$



La station sera donc mixte, un tiers environ de la puissance motrice étant produit par des turbines à vapeur et deux tiers environ par des groupes électrogènes à gaz.

Cette disposition permet aux groupes électrogènes de fonctionner à des charges sensiblement constantes et voisines de leurs pleines charges; les pointes sont absorbées par les divers groupes des turbo-alternateurs. La sécurité est complète et le prix des appareils de réserve notablement réduit.

Les soufflantes à gaz de hauts fourneaux, qui sont normalement toutes quatre en service, ont, comme secours et réserve, diverses soufflantes à vapeur qui serviront également pour la première mise en route et seront alimentées par des chaudières semi-tubulaires existantes, chauffées à volonté au gaz ou au charbon.

Les moteurs à gaz, actionnant les souffleries des hauts fourneaux, du même type que ceux des groupes électrogènes, sont à deux cylindres disposés en tandem, au lieu d'être à quatre cylindres, deux à deux en tandem.

Tous ces moteurs ont 1 m. 100 d'alésage et 1 m. 400 de course.

La disposition prévue de station mixte à gaz et à vapeur a permis l'emploi d'eau distillée pour toutes les chaudières, ainsi que pour le refroidissement des moteurs à gaz.

L'eau distillée d'appoint est fournie par un poste de distillation de la maison Kestner, donnant par heure environ 6.000 kilogrammes d'eau à 95°, pour le circuit des chaudières et turbines à vapeur, et 2.000 kilogrammes d'eau à 40° pour le circuit des moteurs à gaz.

L'eau condensée revenant des groupes turbo-alternateurs sert à la condensation par mélange de la plus grande partie de la vapeur produite par l'évaporateur du poste de distillation et retourne par gravité aux bâches alimentaires des chaudières. Cette eau distillée, qui a une température d'environ 95°, est dégazée avant son entrée aux chaudières.

Les 2.000 kilogrammes d'eau distillée, destinés à compenser les pertes du circuit des moteurs à gaz, sont condensés par un condenseur à surface et refroidis à environ 40° par un échangeur de température.

Ces deux appareils sont refroidis par l'eau brute, qui sert ensuite à la production de l'eau distillée, et s'échauffe ainsi à environ 80°.

L'eau distillée du circuit des moteurs à gaz est pompée dans un bassin, situé à la partie inférieure d'un château d'eau, et renvoyée aux deux réservoirs de ce dernier. Le réservoir inférieur, de 700 mètres cubes de capacité, est à 20 mètres environ au-dessus du niveau des salles de moteurs et soufflantes à gaz, et donne la charge nécessaire à l'eau servant au refroidissement des cylindres, fonds de cylindres, boîtes et soupapes d'échappement, coussinets des paliers-moteurs et glissières.

Le réservoir supérieur, de 200 mètres cubes de capacité, est à 60 mètres environ au-dessus du niveau des salles de machines, et donne la charge nécessaire à l'eau servant au refroidissement des tiges de pistons et pistons.



L'eau distillée chaude, qui sort des moteurs à gaz, s'écoule par gravité dans les serpentins d'un réfrigérant par ruissellement, où elle est refroidie d'environ 20°, puis dans le bassin situé en dessous du château d'eau.

L'eau de ruissellement est de l'eau brute dont le débit est environ double de celui de l'eau distillée et qui s'échauffe d'environ 10°.

Cette eau arrive en charge au réfrigérant et elle est reprise par une pompe, pour être renvoyée à deux grands réservoirs qui servent pour les divers besoins de la station d'eau brute, et en particulier pour les condenseurs à surface des groupes turbo-alternateurs.

En résumé, la nouvelle station d'Escaudain sera munie de tous les perfectionnements les plus modernes et permettra de réaliser le plus bas prix de revient du kilowatt, tout en assurant le maximum de sécurité d'exploitation. Elle fait le plus grand honneur aux ingénieurs de la Société Alsacienne, qui en ont dressé les plans et entrepris l'exécution.

\* \* \*

Les stations hydro-électriques constituent fréquemment des stations thermiques de secours, en recourant à des moteurs Diesel : tel est le cas de l'Énergie Électrique du Centre, qui a créé à Saint-Chamond une usine auxiliaire permettant d'alimenter le secteur de Saint-Étienne dans le cas d'un arrêt fortuit de la ligne Dauphiné-Centre.

Cette installation comporte un Diesel deux temps, quatre cylindres, développant 1.000 chevaux et un autre, de même type, mais à marche moins rapide (150 tours au lieu de 167), d'une puissance de 2.000 chevaux; ces machines ont été construites et installées par la maison Sulzer frères. Le premier moteur est accouplé directement à un alternateur triphasé Alioth, à partie tournante extérieure, de 920 KVA sur un réseau présentant un facteur de puissance de 0,75; le second actionne un alternateur semblable, pouvant débiter 1.840 KVA dans les mêmes conditions : les deux unités marchent en parallèle. Leur coefficient d'irrégularité est égal à  $\frac{1}{250}$ . A vitesse et excitation constante pour une décharge brusque, l'augmentation de tension aux bornes atteint au plus 7 % pour  $\cos \varphi = 1$ , et 18 % pour  $\cos \varphi = 0,75$ . Les écarts de vitesse ne dépassent pas, pour une variation brusque de charge de 2,5 %, environ 1,5 % du nombre de tours primitif. Pour une décharge complète, la variation est de 6 %.

On emploie comme combustible une huile brute de Galicie à 10.000 calories, dont les consommations sont celles qui suivent en grammes par cheval-heure.

|                           | Pleine charge. | $\frac{3}{4}$ | $\frac{2}{4}$ | $\frac{1}{4}$ |
|---------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Diesel 1.000 chevaux..... | 210            | 210           | 225           | 310 grammes.  |
| — 2.000 — .....           | 195            | 195           | 210           | 300 —         |

La provision d'huile est renfermée dans deux grands réservoirs en ciment armé, à parois recouvertes de dalles vitrifiées.



L'air de balayage est emmagasiné dans un réservoir cylindrique fixé sous la passerelle des moteurs : il est conduit par des tuyauteries de grande section aux soupapes des cylindres moteurs par quatre larges soupapes.

La mise en marche s'effectue par l'air comprimé en moins de deux minutes, ce qui convient bien à des machines de secours.

L'échappement se fait en déchargeant les cylindres deux à deux dans des pots d'échappement; à leur suite sont placées deux chambres en maçonnerie, le passage de l'une à l'autre s'effectuant à travers des crépines, tout comme les prises d'air (1).

\* \* \*

Les moteurs à combustion interne donnent lieu à des pertes importantes dont on s'efforce de récupérer la majeure partie emportée par les gaz de réfrigération : le gain est appréciable dans des stations qui mettent en œuvre des millions de calories par heure. On estime à 1.250 calories par cheval-heure le nombre de calories réutilisables pour un moteur à gaz qui en consomme 2.250, soit 55 % ; dans un Diesel, on peut retrouver 1.000 calories sur 1.800. Si l'on arrivait à retenir ces calories en totalité, on voit que le prix de revient de l'unité de puissance motrice subirait une réduction notable. De grands efforts sont faits partout en ce sens, et d'excellents résultats ont déjà été obtenus. Le plus souvent, ainsi que nous l'avons dit, on fait passer les gaz de la décharge à travers des faisceaux tubulaires de chaudières à vapeur; quelquefois on chauffe de l'eau ou de l'air. Quelque coûteuses que soient de semblables installations, elles sont toujours rémunératrices. Elles permettent de serrer de très près, dans les stations de quelques mille kilowatts, le prix de revient de l'énergie électrique obtenue par les appareils à vapeur les plus économiques, même en s'imposant un amortissement très supérieur. Il y a là une compensation à la condensation, par laquelle la turbine perfectionne tant son rendement.

## 5. Élévation d'eau.

Les moteurs à gaz et à pétrole conviennent particulièrement bien aux alimentations et aux distributions d'eau.

C'est en Allemagne, à Düren, que fut faite en 1884, la première grande application de ces moteurs à l'élévation des eaux dans une usine hydraulique : d'après M. Max Munzel, à qui nous devons une étude très documentée de ce genre d'installations, elles ont eu partout le plus grand succès, et notamment en Allemagne et en Angleterre.

Les usines hydrauliques à gaz pauvre sont nombreuses en Allemagne : le

1. *Technique moderne*, juillet 1913.

2. *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 16 mars 1895; *Journal du gaz et de l'électricité*, 31 janvier 1895, page 209.



gazogène convient, en effet, très bien à la production d'un travail continu, souvent poursuivi de jour et de nuit, sans grande variation de puissance.

Au début, le travail était transmis aux pompes au moyen d'engrenages et l'on ne pouvait guère faire autrement, vu la grande différence de rotation entre les moteurs et les pompes. Mais la vitesse de ces dernières ayant été augmentée et portée à 80 tours par minute, on eut recours aux transmissions par courroies.

On fait souvent usage de pompes triples; la variation du travail par révolution ne dépassant pas 20 %, l'énergie absorbée est très constante, et l'on entraîne l'arbre sans être obligé de recourir à l'emploi d'un volant spécial : ce genre de pompes est très répandu, car ces machines sont avantageuses.

Parmi les installations les mieux réussies, il convient de citer celle de l'usine de Bâle, possédant deux séries indépendantes de pompes, capables d'envoyer chacune 430 mètres cubes à 92 m. 50 de hauteur. Le moteur, construit dans les ateliers de Deutz, est à deux cylindres opposés de 520 millimètres de diamètre et 760 millimètres de course; il fait 140 tours, et développe aisément 210 chevaux effectifs. Les pompes sont triples à simple effet; les pistons plongeurs ont 260 millimètres de diamètre et 700 de course; les valves sont annulaires avec cinq cercles; la levée sur les sièges est de 10 millimètres. Au-dessous des valves, se trouve une grande chambre d'aspiration; sur la conduite est disposée une chambre à air construite en tôle de fer. L'arbre de commande des pompes, faisant 60 tours, est entraîné par 10 câbles de 50 millimètres de diamètre. La mise en route du moteur s'opère par une petite machine hydraulique de 8 chevaux, permettant de donner au moteur une vitesse de 20 tours à la minute, alors que les tuyaux de refoulement sont ouverts sur le puits lui-même : le moteur ayant fait quelques tours à ce régime, les inflammations deviennent régulières et la vitesse croît rapidement jusqu'à sa valeur normale; la machine hydraulique s'arrête alors automatiquement, le *by-pass* des pompes est fermé et les pompes travaillent.

Une canalisation relie l'usine à gaz de Bâle au gazomètre de la station hydraulique, de façon à ce que, si le moteur devait être mis en marche à un moment inattendu, on pourrait le faire sans avoir à attendre que le gazogène fût en bonne allure.

Au point de vue économique et mécanique, le fonctionnement de ces établissements hydrauliques se montra très satisfaisant; aussi la seule maison Otto, de Deutz, monta en une dizaine d'années une centaine d'installations de ce genre représentant plusieurs milliers de chevaux de puissance.

En Angleterre, de nombreux *waterworks* sont mûs par des moteurs à gaz; nous signalerons les usines de Birmingham, Gloucester, Godalming, Ross, Teignmouth, Wellington, Montgomery, Malborough, Londres (County Council) installées par la seule maison Crossley; mais tous les constructeurs se sont lancés dans cette spécialité.

Les résultats ne sont pas moins heureux qu'en Allemagne; l'usine de Montgomery, dont l'*Engineer* a donné une description, nous en fournit la preuve.



Les pompes installées dans le puits, à plus de 30 mètres du sol, refoulent 17 mètres cubes par heure, sous une charge de 56 mètres, dans un réservoir situé à 390 mètres de distance horizontale. Le prix du mètre cube d'eau montée ne dépasse guère 3 centimes, alors que le mètre cube de gaz est payé 13 centimes.

En France, on a construit les usines de Laval, Brunoy, etc..

Les résultats obtenus dans les usines hydrauliques aux gaz pauvres sont très supérieurs à ceux que fournit la vapeur; ce fait est établi indiscutablement par le rapport officiel de l'exercice 1900 du service des eaux de la ville de Bâle, où l'on emploie concurremment des machines à vapeur et des moteurs à gaz pauvre pour l'élévation des eaux d'alimentation. J'extrais de ce rapport les chiffres qui suivent.

Les moteurs à vapeur ont élevé 545.020 mètres cubes d'eau à une hauteur moyenne de 87,3 mètres; elles ont consommé 469.490 kilogrammes de combustible, dont 329.690 kilogrammes de charbon et 139.800 kilogrammes de coke. La consommation par mètre cube a donc été de 0,85 kilogramme de combustible, ce qui correspond à un travail de 102.200 kilogrammètres par kilogramme de combustible. La dépense d'huile de graissage a été de 0,9 gramme par mètre cube d'eau.

Les moteurs à gaz pauvre ont élevé 4.092.094 mètres cubes d'eau (soit les  $\frac{9}{10}$  de la totalité) à la hauteur moyenne de 87,8 mètres; ils ont nécessité l'emploi de 1.288.200 kilogrammes de coke de gaz (plus 6.800 kilogrammes d'antracite utilisés dans des essais). La consommation de combustible a donc été de 0,31 kilogrammes par mètre cube d'eau élevée, ce qui correspond à un travail de 286.200 kilogrammètres par kilogramme de coke. La dépense d'huile de graissage par mètre cube d'eau montée a été de 1,4 gramme.

Une des plus récentes installations hydrauliques qui ait été faite est celle du Service des Eaux de Paris, à son usine de Saint-Maur, où des turbines Girard et Fourneyron sont employées pour l'élévation et la stérilisation, conjointement avec des machines à vapeur Farcot et des moteurs à gaz pauvre. Les machines à vapeur élèvent par vingt-quatre heures environ 82.000 mètres cubes alors que les moteurs à gaz en élèvent 175.000 mètres. On voit que la plus grande partie du travail est dévolue aux gaz.

La production du gaz pauvre est assurée par une batterie de 10 gazogènes Fichet et Heurtey, auto-producteurs de vapeur, à aspiration, pouvant développer par unité 330 chevaux. Chacun d'eux mesure 3 m. 50 de hauteur totale: il comporte une cuve de 2 m. 30 de diamètre intérieur dont la paroi réfractaire est supportée par une couronne en fonte, sur le bord de laquelle repose un tronc de cône de répartition du combustible sur la grille. La grille est tournante; elle est formée par une série de barreaux inclinés suivant les génératrices d'un cône, qui se raccorde à une couronne horizontale dont le dessous est en crémaillère. L'air se sature d'humidité en passant au-dessus de l'eau de la chaudière, puis il



se réchauffe au contact du tuyau de sortie des gaz avant d'être admis sous la grille.

L'épuration est effectuée par un refroidisseur à plateau, un ventilateur-laveur et un scrubber à deux plateaux, chargés de 80 centimètres de grésillon de coke.

Les gaz sont recueillis dans une cloche de 400 mètres cubes.

La disposition des gazogènes mérite d'être décrite. Ils sont placés en ligne, espacés de 5 mètres d'axe en axe. Un plancher de service est monté à la partie supérieure : le charbon y est distribué par des trémies, une pour deux cuves. Il est monté du sous-sol à une galerie supérieure par un monte-charges, puis réparti aux trémies par wagonnets.

Les appareils de refroidissement et d'épuration occupent le rez-de-chaussée; c'est à ce niveau que se fait le décendrage.

La batterie est organisée pour l'emploi du coke.

Voici les consignes données au conducteur. Si l'on brûle du coke, l'épaisseur du combustible sera de 0 m. 80 pour du grésillon, 1 mètre pour du n° 0 et 1 m. 20 pour du n° 1. La partie supérieure peut au plus atteindre le rouge sombre : on charge en conséquence. Toutes les deux heures, il convient de faire tomber les cendres; l'enlèvement des mâchefers sera réservé pour les relais d'ouvriers.

Les résultats obtenus ont été excellents.

En essais, la consommation a été de 399 kilogrammes de coke n° 0 d'usine à gaz, pour 504 chevaux évalués en eau élevée, soit 791 grammes par cheval-heure net.

Industriellement, c'est-à-dire en marche pratique, on dépense 1 kilogramme de coke humide, tous allumages et marches réduites compris.

Le moteur Diesel tend à prendre une large place dans les usines élévatoires : MM. Sulzer frères se sont spécialisés dans ce genre d'installations, et leurs prospectus décrivent plusieurs stations d'eau, notamment celle de la Société Wadi Komombo, au Caire, où un moteur de 2.100 chevaux est accouplé directement à une pompe centrifuge. La garantie donnée et tenue était de 270 grammes de pétrole à 10.000 calories, par cheval-heure en eau montée. Signalons encore l'usine d'Ipswich : les pompes suspendues librement dans une conduite de 20 mètres de longueur sont actionnées par deux Diesel à quatre temps et grande vitesse (300 tours); elles débitent 158 litres par seconde, pour une hauteur manométrique de 72 mètres, en absorbant 215 chevaux effectifs.

## 6. Applications diverses.

Le moteur à combustion interne, qui s'accommode de tous les combustibles se prête aussi aux applications les plus variées.

Nous allons fournir quelques exemples de cette remarquable aptitude



de nos moteurs à se plier à tous les travaux [de la ville et de la campagne.

Les locomobiles, qui sont des machines motrices montées sur roues, empruntent autrefois leur puissance à la vapeur, mais les machines à essence et à pétrole ont rapidement conquis leur place sur la plate-forme de ces voitures. Plus n'est besoin de chaudière; il faut, il est vrai, de l'eau pour rafraîchir le cylindre, mais on trouve toujours un puits pour fournir cette eau, et, du reste, il suffit d'établir deux ou trois tonneaux sur des tréteaux pour établir une circulation suffisante dans la plupart des cas.

La locomobile à pétrole a pris son essor aussitôt que son fonctionnement a été assez bien assuré et sa conduite rendue assez facile, pour permettre de l'utiliser continûment et avec sécurité dans les travaux agricoles. Il faut, en effet, des machines robustes et rustiques pour qu'elles puissent affronter l'épreuve des champs et résister au maniement des garçons de ferme; mais étant donné qu'il y a des moteurs qu'on peut mettre entre les mains les plus rudes et les plus novices, ces moteurs conviennent parfaitement aux services ruraux, et ils constituent des locomobiles qui peuvent concurrencer avantageusement les locomobiles à vapeur. Leur grand avantage réside d'abord dans leur légèreté relative et leur mobilité; joignons à cela l'emploi d'une faible quantité d'eau pour la réfrigération du cylindre; ces machines réduisent, d'autre part, les dangers d'incendie; leur approvisionnement de pétrole est enfin extrêmement aisé aujourd'hui, puisque ce précieux liquide se vend partout.

De nombreux constructeurs ont entrepris la construction des locomobiles et le succès les a encouragés à suivre cette voie.

Les concours de Meaux, de Cambridge et de Berlin ont mis en évidence le mérite des locomobiles de nombreuses maisons françaises, anglaises et allemandes : des essais prolongés d'endurance, de régularité et de consommation ont fourni des résultats qui ont été très remarquables, nous en avons déjà parlé ci-dessus (1).

Nous croyons intéressant et utile de réunir en un tableau les dimensions des moteurs de quelques locomobiles.

| CONSTRUCTEURS     | CYLINDRE |        | VITESSE<br>EN TOURS<br>par minute | POIDS<br>TOTAL | PUISSANCE<br>en<br>CHEVAUX |
|-------------------|----------|--------|-----------------------------------|----------------|----------------------------|
|                   | DIAMÈTRE | COURSE |                                   |                |                            |
|                   | mm.      | mètre  |                                   | kilogr.        | chevaux                    |
| Merlin.....       | 170      | 0,170  | 283                               | 1.200          | 4,8                        |
| Niel.....         | 182      | 0,360  | 176                               | 3.000          | 6,4                        |
| Grob.....         | 188      | 0,188  | 265                               | 1.600          | 6,2                        |
| Crossley.....     | 215      | 0,460  | 185                               | »              | 9,9                        |
| Hornsby.....      | 305      | 0,406  | 196                               | »              | 10,5                       |
| Otto (Deutz)..... | 200      | 0,240  | 330                               | 3.000          | 9,9                        |
| Hille.....        | 200      | 0,400  | 240                               | 3.500          | 10,5                       |
| Daimler.....      | 175      | 0,280  | 240                               | 1.850          | 3,7                        |
| Robey.....        | 217      | 0,306  | 250                               | 3.225          | 4,1                        |
| Swiderski.....    | 168      | 1,180  | 320                               | 1.420          | 3,9                        |

1. Cf. tome I, pages 49 et 461.



Le plus ordinairement les locomobiles sont alimentées d'essence ou de pétrole lampant ; on peut compter pratiquement sur une consommation de 450 grammes par cheval-heure, dans des conditions moyennes de fonctionnement. Les locomobiles à alcool ont obtenu un grand succès en Allemagne : l'alcool est le carbure que les agriculteurs devraient préférer à tout autre, car ils sont à

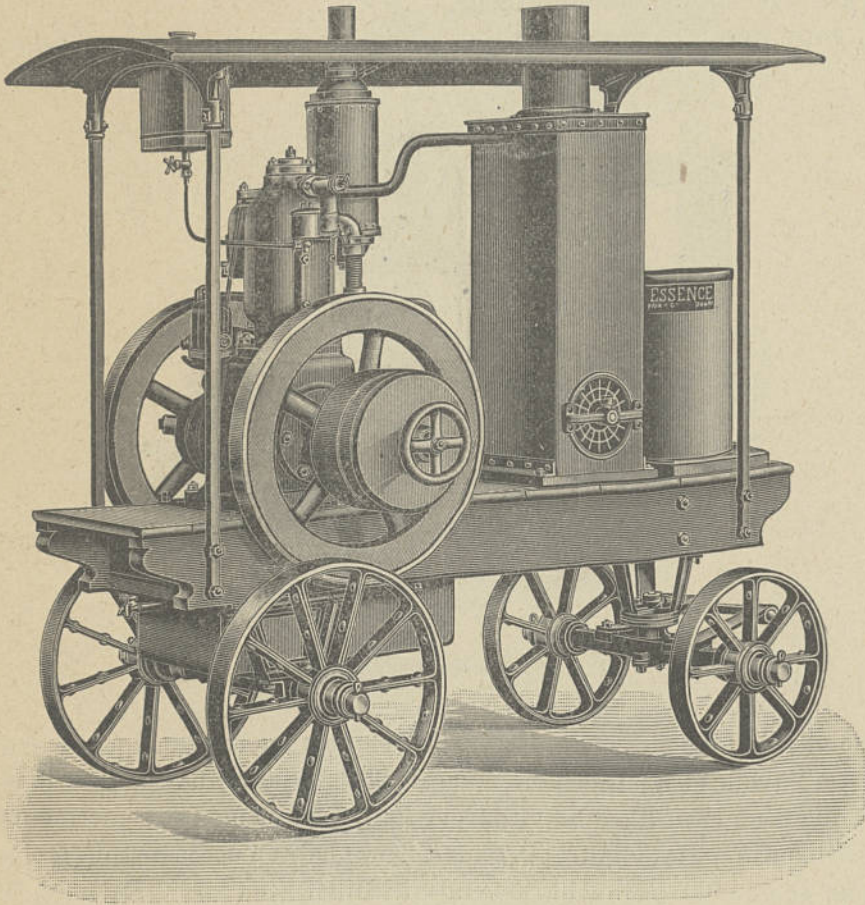


Fig. 376. — Locomobile Millot.

même de le produire. On a aussi construit des locomobiles à gaz pauvre, dont le succès a été médiocre, en dépit de l'économie qu'on pouvait réaliser ainsi.

Le type le plus répandu des locomobiles est à plate-forme ; celle-ci constitue souvent le réservoir à eau et à carbure, ce qui augmente la stabilité en abaissant le centre de gravité.

La plupart des voitures sont à quatre roues : la locomobile Crossley à trois roues fait toutefois exception à cette règle. L'échappement s'effectue commodément par une cheminée placée à l'avant ou à l'arrière. Des appareils à circulation assurent le refroidissement de l'eau : Priestman disperse l'eau en pluie fine dans le courant d'air aspiré par l'échappement ; d'autres lui font traverser



des appareils à chicanes, ou bien encore des réfrigérants tubulaires installés sur la tôle d'abri servant de toit à la machine.

MM. Merlin et C<sup>ie</sup>, de Vierzon, grands constructeurs de machines à vapeur et de locomobiles pour l'agriculture, ont monté leur moteur à pétrole sur un chariot, en le plaçant verticalement; la caisse à eau est disposée sur l'essieu d'avant. L'accès des organes du moteur est facile.

MM. Japy frères, de Beaucourt, ont utilisé de même leur ingénieux moteur

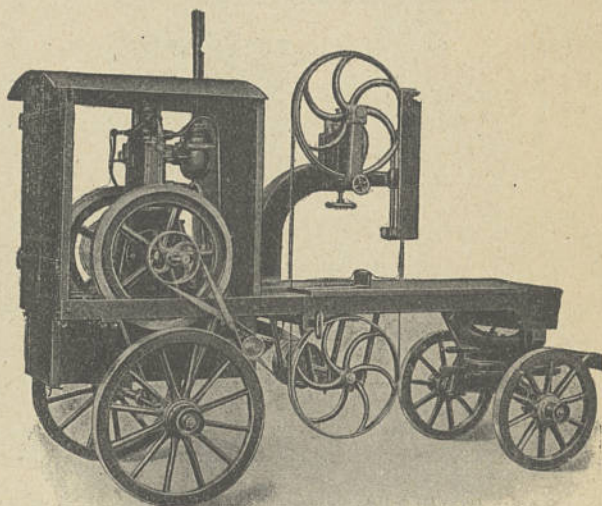


Fig. 377. — Locomobile Douge.

à pétrole et leur modèle est un des meilleurs que nous connaissons; le réservoir d'eau est à l'avant et il a une contenance suffisante pour ne nécessiter le remplacement que d'un seau d'eau environ par jour. Le pétrole est renfermé dans un récipient disposé sur le cylindre; la plate-forme facilite l'accès de tous les organes.

Citons encore les locomobiles Peugeot, Millot (fig. 376), Beaupré, Douge, Bernard, etc.; la maison Douge a installé son moteur Dolo sur un châssis qui porte une scie à bois (fig. 377); la firme Bernard a constitué un modèle élégant et pratique, représenté sur les figures 378 et 379, en circulation et en arrêt. Le prospectus de cette maison annonce une dépense de 250 grammes à 300 grammes par cheval-heure, suivant les puissances et les conditions de marche et c'est un résultat à noter. ■

La Société de la Chaléassière a monté sur roues son moteur, dit simplifié, du type horizontal à deux temps, qui fonctionne au mazout et aux huiles de goudron et végétales. Le moteur développe 12 chevaux, pour un alésage de 230 millimètres, et une course de 0 m. 260, en faisant 300 tours. La voiture mesure 3 m. 50 sur 1 m. 65 et pèse 3.000 kilogs. Cette application du semi-Diesel est très intéressante.



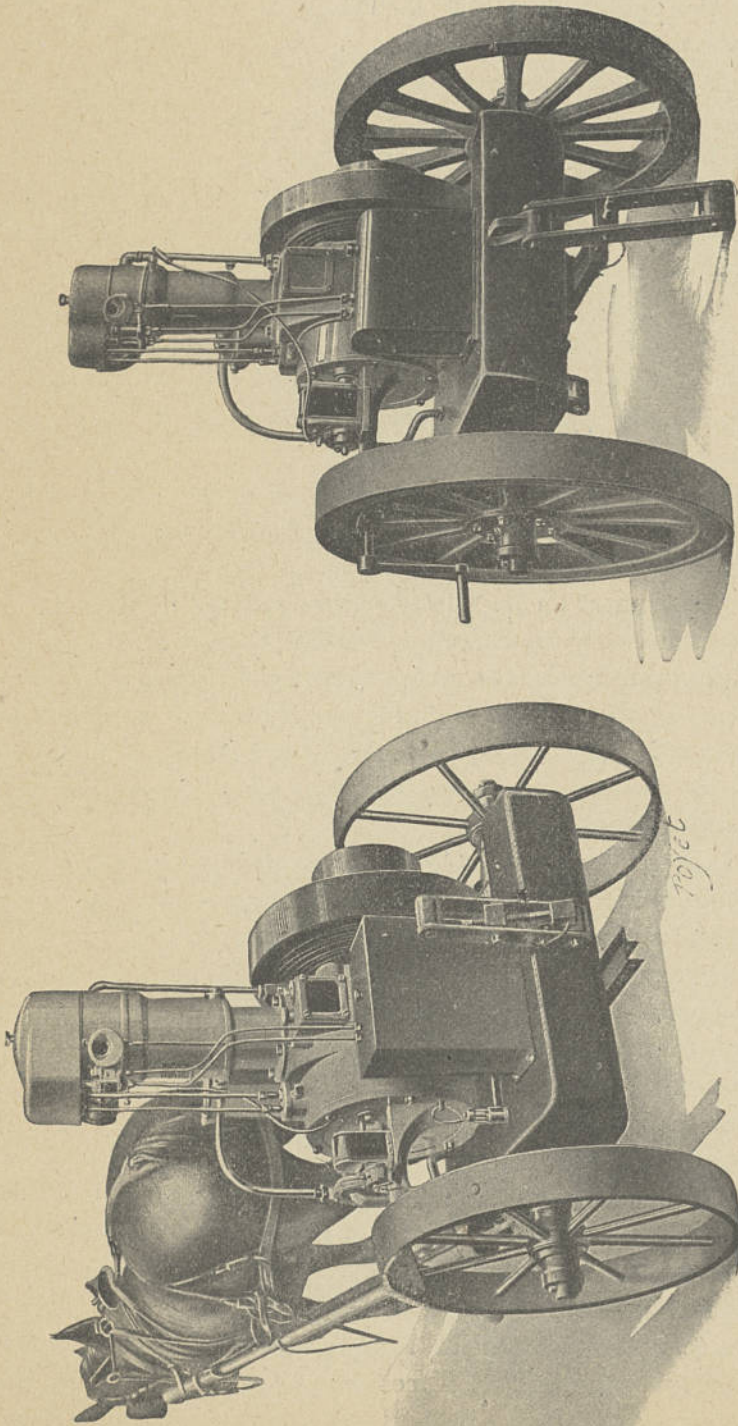


Fig. 378 et 379. — Locomobile Bernard.



L'utilisation des huiles de palme, de coton, de coco, etc., multipliera les applications des locomobiles aux colonies.

La motocharrue Stock, qu'on a remarquée dans les derniers congrès de motoculture, emprunte aussi son énergie à l'essence. Cette labourieuse repose sur deux roues très hautes, dont les jantes sont garnies de palettes d'adhérence : ces roues portent le châssis et toute sa charge et elles sont motrices. Le moteur et le radiateur sont à l'avant ; à l'arrière, les six corps de charrue, les réservoirs, le siège et le volant de direction.

Le moteur a une puissance de 50 chevaux ; il est à quatre cylindres ; il fait 720 tours par minute et commande les roues par un renvoi d'engrenages. Dans une journée de dix heures, on peut labourer de six à sept hectares à une profondeur de 0 m. 25. On estimait avant-guerre la dépense de benzol par hectare à 21 frs 46.

La charrue Stock peut remorquer les instruments de culture, herses, semoirs, etc. ; au concours d'Alger, on lui a vu franchir un fossé de 1 mètre de largeur et 0 m. 75 de profondeur.

La batteuse mécanique de M. Wintenberger trouvera sa place ici : elle jouit d'une juste renommée, que lui dispute la locobatteuse de M. Beaupré, de Montereau. Ces deux maisons rivales se sont fait une spécialité de ce genre de machines. Nous avons déjà signalé les qualités du moteur Millot, qui est monté sur la voiture Beaupré ; le réfrigérant est logé dans les tôles ondulées de la toiture.

On a créé des groupes de moteurs-pompes, qui peuvent rendre de grands services à certaines industries.

La pompe Japy est placée directement sur le socle du moteur ; sa commande s'effectue par une paire de roues dentées, dont l'une est en cuir comprimé ; la transmission est ainsi rendue parfaitement silencieuse.

MM. Japy construisent aussi une pompe à incendie, actionnée par un moteur à essence de huit chevaux, d'un poids relativement faible, donc très maniable et aisément transportable. Son débit est de 400 litres à la minute ; elle projette deux jets à 35 mètres. Un clapet de sûreté prévient les accidents qui pourraient provenir de l'arrêt instantané de l'un ou l'autre jet.

La pompe à incendie locomobile Grether mérite aussi une place dans cette revue ; elle porte un moteur vertical à essence ; sa puissance est de 10 chevaux. Il est installé au-dessus de l'essieu d'arrière et son arbre est parallèle aux longerons entre lesquels tourne le volant. Ce dernier surplombe légèrement la plateforme du machiniste.

Le moteur actionne directement l'engrenage de la pompe par l'intermédiaire d'un accouplement à friction, commandé par un volant à main, placé sur le côté. La pompe se compose de deux cylindres à double effet, reliés par une entretoise creuse commune avec une boîte conique renfermant les soupapes d'aspiration et de refoulement. La soupape d'aspiration est horizontale, tandis que celle de refoulement repose sur un siège incliné. Une cloche sphérique à



air, disposée entre les deux cylindres, communique avec le tuyau de refoulement.

Une petite pompe à ailettes, actionnée par l'arbre moteur au moyen d'un engrenage à vis sans fin, aspire de l'eau dans une bêche inférieure et la fait circuler dans l'enveloppe des cylindres du moteur. L'eau chaude peut être utilisée pour réchauffer en hiver les cylindres des pompes durant les interruptions de fonctionnement; c'est une utile précaution qui empêche les congélations d'eau.

Une soupape, établie au croisement des deux tubulures du refoulement, entre en jeu automatiquement dès qu'une certaine pression maximum est atteinte; cette limite atteinte, la soupape se lève et il s'écoule de l'eau dans la bêche de la pompe. Cette disposition empêche les conducteurs de la pompe de lui demander un excès de travail, auquel le moteur ne saurait point suffire, ce qui pourrait avoir pour résultat de le caler. Le débit maximum ainsi fixé est de 10 litres par seconde sous une pression de 6,5 kilogrammes.

On a construit avec succès des grues, ponts roulants et autres appareils élévatoires, actionnés par des moteurs à essence : ils ont permis de réaliser une économie appréciable, sur l'emploi de la vapeur et ils peuvent encore lutter quelquefois avec l'électricité.

Mais voici l'exemple le plus curieux de la multiplicité des applications auxquelles se prêtent les moteurs à gaz, à essence et à pétrole : M. Clerk a construit un marteau-pilon. C'est la double action de la gravité et d'une explosion qui projette la masse de haut en bas vers la chabotte du marteau. Elle est relevée aussitôt par la réaction de l'air comprimé dans cette brusque descente, car à ce moment le dessous du piston frappeur communique avec un réservoir, logé contre le bâti du marteau, qui contient une réserve d'air comprimé et fournit l'énergie nécessaire au relèvement du piston et de la masse qu'il porte. Ainsi donc, le fonctionnement du pilon Clerk est obtenu en utilisant l'énergie du mélange tonnant pour la descente du marteau, et en faisant intervenir comme ressort de relèvement la réaction de l'air comprimé par la descente dans un réservoir d'air.

MM. Robson, Pinckney, Banki et d'autres encore ont construit des pilons à explosion, qui ont excité un moment d'attention mais ne l'ont pas fixée.

## 7. Traction et propulsion.

C'est dans ce domaine que le moteur à combustion interne a sans doute remporté ses plus beaux triomphes. Il règne presque sans rival sur les routes de terre et de mer et, dans les voies de l'air, il est hors de pair.

Pour ce qui est de la traction sur les chaussées, pavées ou empierrées, il n'y a qu'à regarder autour de nous : le cheval, la plus noble conquête de l'homme



(le pauvre moteur à avoine!), a même perdu les faveurs des arbitres de l'élégance, et la limousine a remplacé le carrosse d'autrefois. Les boulevards et les avenues des capitales, aussi bien que les routes nationales, sont sillonnées d'autos légers et rapides comme le vent, qui ne connaissent plus les pannes désespérantes des premiers jours. Aux États-Unis d'Amérique, il y a plus de 10 millions de voitures automobiles en circulation (1).

En poids lourds, la pesante et massive locomotive routière à vapeur a été supplantée par les camionnettes et les camions à essence, dont la puissance ne cesse de croître. Ils joignent, à une remarquable sécurité, un fonctionnement économique qui brave même la concurrence du Diesel aux rendements supérieurs; déjà les carburateurs aux huiles lourdes se prêtent à l'emploi de pétroles aussi riches en calories que l'essence, et moins coûteux qu'elle; on entrevoit le moment où l'essence sera un produit de luxe; en attendant que le carburant national soit devenu une réalité pratique, nos chauffeurs disposeront des sous-produits des usines à gaz, des gazéificateurs à récupération et des cokeries.

Les chaînes, les engrenages, les embrayages, le différentiel constituent encore des complications mécaniques, que l'on supprimera dans les véhicules automobiles à transmission électrique qui sont à l'étude dans plusieurs ateliers. Tel est le camion Balachowski et Carré, dans lequel l'énergie est transmise par le jeu de phénomènes électromagnétiques, c'est-à-dire par l'intermédiaire d'une génératrice volant autorégulatrice, à excitation rapide, et d'électro-moteurs constituant les moyeux des roues du véhicule. Le nombre des vitesses est illimité, sans préjudice de la bonne utilisation du moteur à essence. Il n'y a plus ni levier, ni changement de vitesse, ni combinateur: l'admission du gaz donne toute la gamme des vitesses (2). Nous signalerons plus loin plusieurs applications de ce système semi-électrique, dans divers domaines, et verrons combien il est avantageux.

Plusieurs constructeurs ont équipé des camions avec des moteurs alimentés de gaz pauvre. La Société de matériel agricole de Vierzon a obtenu d'excellents résultats dans cette voie avec son gazogène autoréducteur, au bois, que nous avons décrit ci-dessus. La cuve a 490 millimètres de diamètre et 2 mètres de haut; elle est placée sur le côté du camion, derrière le siège du conducteur. Les prises d'air sont réparties dans la hauteur de la cuve sur trois circonférences; le départ du gaz est effectué sous la grille. L'épurateur est constitué par une longue canalisation comprenant trois tubes avec intercalation de chambres de dépôt des poussières. Le moteur à 4 cylindres, de 90 sur 0,160, développe 20 chevaux par 1.100 tours. Un ingénieux dispositif permet de marcher éventuellement à l'essence, quand il faut donner un coup de collier. Des expériences précises, faites sur la route de Vierzon à Étampes, ont relevé une dépense de 140 grammes d'un mélange de 3/4 de bois sec et d'un quart de charbon de bois, par tonne

1. En France, nous n'en avons guère plus de 350.000.

2. *Technique moderne*, tome VI, n° 6, année 1913.



kilométrique, pour une vitesse commerciale de 14 kilomètres à l'heure.

Sur les voies ferrées, il fut une époque où l'on ambitionna pour le moteur à gaz proprement dit le privilège d'actionner les voitures de tramways : ces tentatives appartiennent à l'histoire, mais leur histoire ne commémore que des succès très relatifs. Rappelons, toutefois, les tracteurs Connelly, Lührig, Gilliéron et Amrein; etc., que nous avons décrits dans notre quatrième édition : on en fit quelques applications sur la fin du siècle dernier, en Amérique, en Allemagne, en Suisse et ailleurs. La provision de gaz combustible était renfermée dans des réservoirs, où il était comprimé à 15 et 20 kilogrammes; on les logeait sous le plancher, quelquefois sur le toit des voitures. Un véhicule pouvant contenir 12 voyageurs dépensait environ 625 litres de gaz par kilomètre, en palier, à la vitesse de 25 kilomètres à l'heure.

A Dresde, la consommation de gaz a été de 640 litres par kilomètre-voiture; à Dessau, la dépense a été moindre, et elle n'a pas dépassé 510 litres; à Blackpool, on a relevé 530 litres.

La Compagnie Parisienne a effectué des essais entre La Chapelle et Saint-Denis; sa voiture à impériale, pesant 7 tonnes à vide, pouvant contenir 42 personnes, développait 16 kilomètres à l'heure; elle consommait 550 litres par voiture-kilomètre, non compris la dépense correspondante à la compression du gaz. Elle portait 1.250 litres de gaz sous 10 kilogrammes de pression. Ces essais n'ont pas décidé la Compagnie à adopter le système des tramways à gaz.

L'essence convenait mieux que le gaz à ce genre de voitures : la maison Daimler en prit l'initiative et elle équipa de la sorte les tramways de Cannstadt, qui obtinrent de bons résultats. La Compagnie Otto de Deutz, puis la Compagnie Grob se lancèrent dans cette voie, que les succès de l'électricité firent abandonner. Aujourd'hui, on construit surtout des locomotives à essence pour la traction des wagonnets. La maison de Deutz s'est fait une spécialité de ces machines. A l'Exposition de Bruxelles, de 1910, une locomotive de ce genre faisait le service des voyageurs dans la plaine des sports, sur voie de 0 m. 60; d'une puissance de 12 chevaux, elle pesait 5.200 kilogrammes. Son moteur monocylindrique mesurait 190 millimètres d'alésage et 0 m. 260 de course; il faisait 330 tours à la minute. Aux vitesses de 5 et 10 kilomètres à l'heure, la force de traction était de 600 et 1.265 kilogrammes, mesurée au crochet d'attelage; on pouvait donc remorquer 50 et 22 tonnes aux vitesses susdites.

La même Société a établi un type de locomotives pour les mines grisouteuses, garanti contre tout retour de flamme vers l'extérieur : l'aspiration de l'air et la décharge des gaz brûlés se font dans des capacités refroidies par une circulation d'eau.

Nos mécaniciens français ont construit divers modèles de tracteurs et de locomotives sur rails, qui ne le cèdent en rien aux précédents : signalons entre plusieurs autres les machines de MM. Campagne et C<sup>ie</sup>, pour voies de toute largeur, utilisant l'essence, l'alcool et le pétrole lampant. Les locomotives portent



des moteurs verticaux, à 2 cylindres (120 mm./0 m. 160) pour 20 chevaux et à 4 cylindres pour une puissance double; leur poids est de 4 et 6 tonnes, avec faculté de lester à 8 ou 12 tonnes. Elles remorquent en palier 25 ou 60 tonnes à 10 kilomètres par heure.

Les chemins de fer d'intérêt local font un excellent emploi de ces locomotives sur leurs lignes, surtout pour assurer leurs services de voyageurs. Le Génie civil signalait récemment (4 février 1922) les résultats obtenus dans les Deux-Sèvres, en adaptant des camions de 18 chevaux, provenant des stocks de guerre : on en a fait des voitures automotrices. Elles développent une vitesse de 32 kilomètres à l'heure sur une voie accidentée, en consommant 20 litres d'essence par 100 kilomètres au maximum : leur parcours est de 200 kilomètres par jour. Ce genre de traction est plus économique que par la vapeur.

Les établissements Renault ont entrepris la construction d'automotrices de 60 chevaux pour répondre aux demandes des compagnies : elles sont à quatre vitesses et possèdent un inverseur de marche à pignons d'angle. Un démultipliateur commande un faux essieu, qui porte deux plateaux-manivelles et attaque au moyen de bielles, les deux essieux, qui sont ainsi tous deux moteurs.

Sur le réseau des Chemins de fer de l'État, on effectue le transport des voyageurs, sur les lignes secondaires, par des automotrices de 15 tonnes, remorquant un train de 24 tonnes, à la vitesse de 52 kilomètres en palier, et de 30 kilomètres, sur une rampe de 9 millimètres. Des essais ont été effectués sur des parcours de 1.300 kilomètres : ils ont donné pleine satisfaction à tous égards, et surtout au point de vue de la consommation d'essence. Le prix de revient de la traction est notablement inférieur à celui des trains légers à vapeur : la réduction peut atteindre 7 francs sur 14, par kilomètre.

Dans le même ordre de choses, la Compagnie Westinghouse a créé une voiture automotrice, qu'elle a dénommée pétroléo-électrique, parce qu'elle y accouple un groupe électrogène à essence avec un moteur électrique de traction. On se demandait encore si cette introduction de l'intermédiaire se paie; mais l'expérience a montré que l'on réussit par cet artifice à simplifier les organes, en supprimant les embrayages à friction, nécessaires aux démarrages progressifs, les changements de vitesses provoquant des chocs, et que l'on réalise une souplesse de fonctionnement irréalisable autrement. De fait, les résultats d'exploitation obtenus sont dignes d'arrêter l'attention. Sur une ligne hongroise, on a relevé en un an les chiffres ci-dessous.

|   |                  |                  |
|---|------------------|------------------|
| Nombre de trains-kilomètres.....                | 788.963          |                  |
| Consommation d'essence par train-kilomètre..... | 435 grammes.     |                  |
| Prix de l'essence au kilogramme.....            | 19,80 centimes.  |                  |
| Frais de traction.                              | {                |                  |
|   | Combustible..... | 8,60 —           |
|   | Lubrifiant.....  | 1,93 —           |
|   | Divers.....      | 0,083 —          |
|   | Personnel.....   | 5,35 —           |
|   | Réparations..... | 5,86 —           |
| TOTAL.....                                      |                  | 21,823 centimes. |



Les trains omnibus, portant 138 voyageurs, pèsent 35,260 tonnes et font de 30 à 35 kilomètres à l'heure par un moteur de 40 chevaux.

Pour des trains rapides, à 87 voyageurs (vitesse = 55 à 60 kilomètres à l'heure), la dépense était de 29,445 centimes.

En définitive, cette ligne qui se trouvait en déficit avec les locomotives à vapeur, réalisa aussitôt d'importants bénéfices. Aussi les locomotives Westinghouse ont-elles trouvé rapidement un vaste champ d'application.

L'augmentation du prix du benzol et de l'essence a conduit des constructeurs à faire emploi de moteurs Diesel à deux temps, employant encore l'électricité comme transmetteur d'énergie. Ces moteurs sont bicylindriques; l'air nécessaire à l'injection et au balayage est comprimé à 60 kilogrammes par un compresseur à deux étages. La génératrice à pôles tournants développe 60 kilowatts par 500 volts; elle est excitée par une compound de 5 kilowatts, 70 volts, qui fournit le courant pour le compresseur, l'éclairage et le sifflet; elle est en parallèle avec une batterie d'accumulateurs de 32 éléments. Les moteurs de traction sont au nombre de deux; ils peuvent donner à la voiture une vitesse de 50 kilomètres à l'heure en palier. Ils sont couplés suivant le système de montage Ward-Léonard : le conducteur fait varier l'excitation. Le moteur thermique travaille sous charge constante à la vitesse la plus convenable (1).

La consommation de cette automotrice varie, suivant la vitesse et la durée des arrêts, de 7,3 à 10,8 grammes par kilomètre pour une huile de gaz de densité 0,864.

M. Leroux a aussi établi une voiture automotrice, destinée à transporter le personnel des mines de Carvin à l'intérieur de la concession (2); elle peut remorquer trois wagons à deux essieux, à la vitesse de 50 kilomètres à l'heure, pouvant recevoir 130 personnes. Le moteur Diesel à deux temps attaque par deux bielles l'un des essieux du bogie-avant; il comporte deux longs cylindres, munis chacun de deux pistons à mouvements opposés. Pour assurer les démarrages, les manivelles des deux cylindres sont calées entre elles à 90°. Le changement de marche s'obtient par un déplacement longitudinal de l'arbre à cames. La pompe à huile combustible porte un clapet d'aspiration, en acier ou nickel, et deux valves en bronze, de sections différentes. Un tacquet permet de soulever pendant une partie de la course le clapet d'aspiration, et de régler le débit à volonté pour faire varier la puissance du moteur et la vitesse de la voiture; ce même tacquet peut régler aussi l'insufflation de l'air comprimé. Un régulateur automatique intervient pour arrêter le refoulement de l'air dans le réservoir en cas d'excès de tension. L'air de balayage est débité par deux pompes à double effet, placées de côté et d'autre des cylindres moteurs : leur distribution est à tiroirs cylindriques. Ces pompes servent non seulement au rinçage des cylindres, mais encore aux mises en route : leur volume est égal à 1,65 fois celui des cylindres moteurs.

1. *Technique moderne*, 1918, n° 10; l'article n'indique pas de nom de constructeur.

2. *Le Génie civil*, 21 mai 1921.



Mais un moteur auxiliaire à pétrole commande de plus un compresseur pouvant alimenter un petit récipient à 150 kilogrammes de pression.

A la vitesse de 35 kilomètres à l'heure, le rendement organique est égal à 0,78 et la consommation ne dépasse pas 200 grammes par cheval-heure effectif.

MM. Schneider et C<sup>ie</sup>, du Creusot, ont construit un locotracteur, établi d'abord pour effectuer la traction sur les voies de leurs vastes usines, et qui paraît surtout rentrer dans la catégorie des poids lourds. Nous empruntons les renseignements qui suivent à une étude de M. Brillié (1).

Les conditions imposées étaient de développer un effort de traction de 2.500 kilogrammes à une vitesse de 20 kilomètres à l'heure, en passant dans des courbes de petit rayon.

On a adopté un moteur à quatre cylindres jumelés deux par deux, de 140 millimètres d'alésage et 0 m. 200 de course; on s'est efforcé, pour obtenir un bon rendement, de donner aux soupapes un très grand diamètre, tout en diminuant le plus possible la surface refroidissante des parois des cylindres, conformément aux meilleures traditions de la construction. Un régulateur de vitesse permet toute la gamme des vitesses depuis 300 jusqu'à 1.000, voire même, s'il le faut, 1.200 tours. Le moteur est conditionné pour fonctionner à l'essence, au benzol, à l'alcool carburé et à la naphthaline; dans ce dernier cas, on emploie deux carburateurs.

La puissance de ce tracteur peut être estimée à 70 chevaux : de nombreux essais ont démontré que la consommation par cheval-heure ne dépasse pas 275 grammes de naphthaline, ce qui est un remarquable résultat.

L'application de la transmission aérothermique Hautier a permis de réaliser d'une façon extrêmement souple les efforts les plus variés, depuis le couple maximum au démarrage jusqu'au couple normal en prise directe. La transformation d'énergie s'opère du reste de la façon la plus économique, puisque l'air comprimé adiabatiquement passe directement et à haute température dans le cylindre où il se détend.

Nous renvoyons au mémoire de M. Brillié pour une étude plus complète de cette création, qui fait honneur aux ingénieurs qui l'ont conçue et exécutée (2).

La vapeur et l'air comprimé, dont on a longtemps utilisé l'énergie pour la traction des voitures sur rails, n'ont jamais connu de rendements comparables à ceux que nous venons de signaler.

Ces succès ont fait naître l'idée de monter des moteurs Diesel sur le châssis

1. *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France*, avril 1913.

2. Les ateliers du Creusot, conjointement avec les Forges et Aciéries de la Marine, ont aussi construit des locotraceurs pétro-électriques, destinés au service de l'artillerie. Un moteur à essence, à quatre cylindres en étoile, entraîne une dynamo génératrice, qui alimente des moteurs de traction, commandant les essieux par double réduction d'engrenages. La vitesse normale du moteur est de 1.200 tours par minute, mais on a la possibilité de le faire tourner au ralenti pour certaines manœuvres. A la vitesse de 12 kilomètres à l'heure, l'effort aux jantes atteint 3.000 kilogrammes, mais il peut être porté à 9.000 kilogrammes à la vitesse de 3.600 mètres. La puissance de ces machines est de 120 ou 240 chevaux. Le Creusot a plus tard construit un type de 300 chevaux. Les dispositions de ces tracteurs sont brevetées au nom de M. Crochat.



des locomotives de grandes voies ferrées : Diesel lui-même s'était appliqué à réaliser cet audacieux projet. Conjointement avec les ingénieurs des maisons Sulzer frères, de Winterthur, et Borsig, de Tegel, il dressa les plans d'une locomotive, présentant les dispositions suivantes, qui n'ont été publiées qu'en 1912 (1).

Deux couples de cylindres moteurs réversibles à deux temps, formant un V, à 90°, attaquent un arbre coudé commun, dont les manivelles sont décalées à 180°, ce qui procure un excellent équilibre. Deux pompes de balayage, actionnées par un jeu de leviers, sont montées entre les cylindres moteurs; les gaz de la décharge traversent un silencieux occupant la partie supérieure, situé sous le toit de la machine. A l'une des extrémités du châssis se trouve un autre moteur Diesel à deux temps, à deux cylindres verticaux, qui commande des compresseurs d'air horizontaux auxiliaires, servant aux démarrages, à diverses manœuvres et au réglage de la vitesse. La pression de l'air de balayage est de 1 kg. 5; celle du démarrage de 50 kilogrammes et enfin, celle de la pulvérisation, de 70 kilogrammes; les divers réservoirs d'air comprimé, d'eau et de pétrole sont logés à l'avant de la locomotive. Celle-ci mesure une longueur totale de 16 m. 600. Elle a un bogie à l'avant et un autre à l'arrière, ainsi que deux essieux moteurs, actionnés par un jeu de bielles, à partir du coudé.

Le moteur principal a un alésage de cylindres de 380 millimètres, avec course de 0 m. 550; il peut développer une puissance de 1.000 chevaux, par 300 tours, et de 1.150 chevaux par 350 tours; il travaille à simple effet. La puissance du moteur auxiliaire est moyennement de 250 chevaux. On démarre à l'air comprimé, et l'on ne donne de pétrole que lorsque la vitesse est devenue égale à 10 kilomètres à l'heure. Le poids total de la locomotive en ordre de marche est de 85 tonnes : la prétention des constructeurs était de remplacer les locomotives à vapeur en usage sur les grandes lignes du continent, en réalisant la vitesse des express. Des expériences ont été faites sur la ligne suisse de Winterthur, à Romanshorn, non sans succès, a-t-on dit : elles ont été interrompues par la guerre.

La locomotive Diesel n'est encore qu'une espérance; nous n'oserions dire qu'elle sera l'œuvre de demain, mais elle renferme assurément des promesses d'avenir, pour des cas déterminés.

En attendant, la maison Sulzer a mis en service, sur la ligne Zurich-Romanshorn, une automotrice Diesel, pesant 65 tonnes, actionnée par un moteur de 250 chevaux, capable de lui donner une vitesse de 70 kilomètres à l'heure en transportant 70 voyageurs assis. La consommation de pétrole est tellement réduite qu'elle est payée par un seul billet de voyageur de troisième classe.

\* \* \*

Dès que les moteurs à essence et à pétrole eurent résolu d'une manière satisfaisante le problème de la carburation de l'air, on les appliqua à la propulsion des bateaux : il ne s'agissait alors que d'embarcations de petite dimension, mais

1. *Stahl und Eisen*, 10 octobre 1912.



le succès dépassa bientôt toutes les espérances. Le moteur à combustible liquide se prêtait, en effet, à cette application, attendu qu'il est peu encombrant, que son poids est faible et son centre de gravité très bas; il a de plus l'avantage de pouvoir être mené à grande vitesse et, par suite, de pouvoir commander directement l'hélice. Un mécanisme spécial fait l'accouplement et permet l'arrêt instantané et la marche en arrière : le moteur est placé à la poupe du bateau, près du gouvernail, de telle sorte que le conducteur, qui sert de pilote, puisse en même temps remplir les fonctions de mécanicien.

La plus grosse difficulté que l'on rencontra résidait dans les démarrages et les changements de marche : les uns l'avaient abordée de front, en établissant des distributions à marche avant et arrière, les autres, au contraire, l'avaient tournée, non moins heureusement, en se servant d'embrayages à inversion de marche; cette dernière solution était la plus simple et c'est elle qui l'emporta. Ces appareils consistent d'ordinaire en une paire de cônes de friction, calés à rainure et languette sur l'arbre de l'hélice, que l'on met à volonté en prise avec l'arbre du moteur, par la poussée d'un levier; le moteur marche continûment dans le même sens. Nos lecteurs se figureront sans peine les mécanismes variés dont on peut faire usage, sans que nous jugions nécessaire d'en donner une description détaillée.

Parmi les premiers moteurs que l'on utilisa, il faut nommer ceux de Daimler, Lenoir, Panhard et Levassor, Forest et Gallice, Priestman, Grob, Sautter et Harlé, de la Touche, etc. On se servait le plus souvent d'essence. Quelques inventeurs songèrent à utiliser le gaz combustible comprimé, ce qui était peu logique, attendu qu'un litre de gazoline donne aisément deux chevaux-heure : si l'on employait du gaz comprimé à 200 atmosphères, il faudrait encore sept litres de gaz; or, les réservoirs pouvant renfermer du gaz comprimé à cette pression sont coûteux, exigent une manutention compliquée et donnent lieu à de sérieuses difficultés d'emploi. Par contre, la compression du gaz à livrer au moteur est toute faite, ce qui est un avantage. C'est sans doute cette considération qui a séduit M. Capelle; cet industriel prit des brevets pour une appropriation des moteurs à gaz au touage et la navigation fluviale, avec emploi de gaz comprimé dans des réservoirs *ad hoc*; une *Société de Navigation* avait été formée au Havre pour l'exploitation de ce système. Elle a fait construire un bateau de 300 tonneaux, qui a été baptisé d'un nom peut-être prétentieux, l'*Idée* : une usine à gaz a été construite à Saint-Étienne-du-Rouvray pour produire le gaz et le refouler dans les tubes. Des dispositions spéciales étaient prises pour refroidir le gaz pendant la compression et empêcher son élévation de température. Les tubes, sortant des ateliers Fryer et C<sup>ie</sup>, étaient placés en dessous des barrots du pont, et ils renfermaient du gaz comprimé à 100 atmosphères; ils avaient 8 millimètres d'épaisseur et pesaient en tout deux tonnes. Le moteur à gaz à deux cylindres, du système Simplex, développait 40 chevaux en actionnant une hélice à pas variable.



Ce bateau a fait un certain nombre de voyages sur la Seine, mais on a bientôt renoncé à l'employer.

On se demande même aujourd'hui comment on a pu s'arrêter à de pareils projets, alors que l'on utilise si bien le pétrole pour l'alimentation des moteurs. Le pétrole, qu'il soit sous forme de gazoline ou d'huile lampante, est comparable à un gaz liquéfié, qui a l'avantage de ne devoir pas être enfermé dans des obus de fer, et qui présente à égalité de volume une provision d'énergie plus grande que le gaz comprimé.

En 1903, M. Bochet publia (1) une très intéressante étude sur les remarquables résultats obtenus en montant des moteurs à pétrole sur les navires; le Danemark, l'Angleterre, l'Allemagne, la Suisse, étaient au premier rang de ces applications. Sur le lac de Constance, les bateliers utilisaient les moteurs comme auxiliaires de la voilure; 42 bateaux furent créés de la sorte et le trafic quadrupla en deux ou trois ans.

L'exemple fut suivi en France par MM. Sautter-Harlé, Claparède, etc.; le port de Brest arma un cotre de pêche et l'on vit des bateaux à pétrole remonter la Seine.

M. Bochet terminait son travail en signalant les avantages que pouvait procurer le moteur Diesel. Celui-ci ne tarda pas à supplanter tous les autres moteurs à combustion interne; c'est ce qui nous reste à raconter brièvement.

Le Diesel fit ses premières preuves à bord des bateaux de la navigation fluviale et lacustre. La Suisse l'installa sur sa flottille des lacs. De remarquables résultats furent obtenus par la Compagnie de Navigation de Zurich : le bateau *Ulo*, qui portait une machine à vapeur de 70 chevaux, pesant 14.700 kilogrammes avec ses chaudières et sa provision de charbon, a reçu un moteur Diesel de la maison Sulzer, d'une puissance double, dont le poids n'était que de 9.750 kilogrammes, y compris deux réservoirs à pétrole de 1.520 litres permettant 1.200 kilomètres de marche; d'autre part, la vitesse du bateau passait de 14 kilomètres à l'heure à 18; enfin, l'encombrement du moteur était moindre et un seul homme suffisait pour le conduire. Sa réversibilité était parfaite, et la machine atteignait presque instantanément sa vitesse normale.

En brûlant de l'huile de naphte de Galicie, à 60 francs la tonne, le prix du combustible par kilomètre s'abaissait à 6,34 centimes, alors que le charbon coûtait 28 centimes et ne permettait qu'une vitesse inférieure de 35 %.

Mais le Diesel était appelé à de plus hautes destinées, et il ne tarda pas à se faire une place sur les navires de haute mer.

M. Bochet, qui a tant contribué à cette application, a fait ressortir, devant la Société des Ingénieurs civils de France, les avantages que promettent les moteurs à combustion aux constructions navales : facilité de ravitaillement, même en pleine mer, gain d'une place importante à bord, que l'on peut utiliser

1. *Bulletin de la Société des ingénieurs civils de France*, 1903.



pour loger des passagers, ou accumuler des marchandises, suppression des fumées, etc.; il a surtout développé le bénéfice que procure la suppression des batteries de chaudières et de leur nombreux personnel. « Nous épargnerons », disait-il, aux hommes de la mer, le dur métier de chauffeur, faisant ainsi œuvre humanitaire, car le maniement de la pelle devant les foyers n'est pas moins rude que celui des avirons à bord des galères d'autrefois. » On ne saurait exprimer en meilleurs termes le progrès qui résulterait de l'application des moteurs Diesel à la propulsion des navires (1).

M. Bochet a signalé l'installation faite à bord du voilier *Quevilly* de 6.200 tonneaux, pourvu de 4.500 mètres carrés de voilure, de deux moteurs Diesel à deux temps, 6 cylindres, de 300 chevaux chacun, construits par les chantiers Augustin Normand; ce fut un succès. La Société Sautter et Harlé se lança dans la même voie et elle fit des machines de 2.400 chevaux. Les Allemands ne voulurent pas se laisser devancer et les ateliers de Nuremberg montèrent à 6.000 chevaux; la maison Blohm et Voss, de Hambourg, et beaucoup d'autres, dépassèrent encore ce chiffre.

Le pétrole supplantera la vapeur du jour où il sera démontré à l'évidence que ces nouvelles machines présentent des garanties de solidité et d'endurance comparables à celles de l'ancienne machine à vapeur à piston, éprouvée par près d'un siècle de service à la mer, simple et robuste, et facile à réparer partout en cas d'avarie.

De nombreux et excellents articles ont été écrits sur ce sujet par les plumes les plus autorisées : nous y renverrons le lecteur (2).

Il constatera que la question est sortie de la phase des tâtonnements. *La Technique Moderne* (3) a pu donner, déjà en 1913, les noms de 119 navires de commerce, équipés en moteurs Diesel, en service ou bien en construction, parmi lesquels le *London*, portant deux moteurs de 3.000 chevaux chacun, filant 16 nœuds. M. Wildt a rapporté que le *Vulcanus*, de 1.900 tonneaux, propulsé par un Diesel de la Werkspoor, de 500 chevaux, a effectué 32 voyages d'un parcours total de 20.345 milles marins, sans le moindre accident de machinerie. Mais voici qui est mieux : le *Mississippi*, de 6.500 tonneaux, construit par la Glen Line Co, et portant deux Diesel de 1.850 chevaux, a parcouru 200.000 milles marins sans réparations.

La maison Sulzer frères a déjà livré 22.000 chevaux en Diesel à deux temps

1. *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France*, juillet 1911.  
WITZ, « L'emploi du moteur à gaz dans les stations centrales d'électricité », *le Génie civil*, 1912, tome LX, page 25.

2. DIESEL, *Die Motorschiffahrt in der Kolonien*, 13 novembre 1911.  
DIESEL, *The present Status of the Diesel Engine in Europa*, 13 avril 1912.  
WILDT, « L'emploi du moteur Diesel à la propulsion des navires de haute mer », *le Génie civil*, 20 juillet 1912.

C. N. : « Les nouveaux moteurs Diesel marins », *la Technique moderne*, tome VI, n° 7, 1<sup>er</sup> avril 1913, page 254.

DUMANOIS, « Application des moteurs Diesel aux navires de guerre », *la Technique moderne* t. VI, n° 8, 15 avril 1914, p. 289.

3. Voir *la Technique moderne*, tome VI, n° 7, 1<sup>er</sup> avril 1913, page 256.



à la marine norvégienne, et l'on vient de lancer à Stavanger un nouveau cargo de 9.000 tonneaux, propulsé par deux moteurs de 2.700 chevaux et dont les services auxiliaires sont effectués par deux machines de 6.100 chevaux.

Ces constructeurs ont établi un type léger, à très faible encombrement, développant 5.000 chevaux par 8 cylindres. Ils ont cédé des licences à une trentaine de concessionnaires de tous pays.

Un puissant moteur Diesel à deux temps, du type Junkers, a été installé par les chantiers de la Weser sur un cargo-boat de la Hamburg-Amerika Linie avec plein succès. Il ne faut donc pas s'étonner de ce que M. Junkers ait projeté d'équiper de même un navire de guerre de 26.000 tonneaux et d'élever sa puissance motrice à 36.000 chevaux.

C'est aller vite en besogne! Mais on ne se compromet pas beaucoup, en annonçant qu'un jour les plus grands bâtiments seront propulsés par des moteurs Diesel.

Les submersibles allemands, qui ont tenu la mer au cours de la guerre et ont causé tant de mal à la flotte des Alliés, ont témoigné de ce que l'on peut attendre de ces nouvelles machines. On avait réussi à réduire leur poids à 26 kilogrammes par cheval; mais le Diesel de paix sera plus facile à construire que le Diesel de guerre, car il pourra sans inconvénient être quatre fois plus lourd en réalisant de meilleures performances.

Il procurera sans aucun doute une notable économie de combustible. Un ingénieur danois, M. Barfoed, a communiqué à la huitième conférence maritime des pays du Nord les chiffres suivants, que nous reproduisons pour démontrer combien seront importants les bénéfices réalisables par les armateurs en faisant emploi des moteurs Diesel. Il compare des navires de 4.000 tonnes de cargaison utile effective, destinés à faire des voyages de 12.000 milles, suivant qu'ils demandent la puissance motrice aux moteurs à combustion ou bien à des machines à vapeur dont les chaudières sont chauffées au mazout ou bien au charbon.

|   | I<br>Diesel. | II<br>Vapeur<br>(mazout). | III<br>Vapeur<br>(charbon). |
|---|--------------|---------------------------|-----------------------------|
| Dimensions : longueur.....                | 88 m. 4      | 98 m. 2                   | 104 m. 7                    |
| — largeur.....                            | 12 m. 8      | 13 m. 2                   | 14 m. 2                     |
| — creux.....                              | 8 m. 8       | 8 m. 8                    | 8 m. 8                      |
| Tonnage deadweight.....                   | 4.375        | 5.075                     | 5.455                       |
| Cargaison effective.....                  | 4.000        | 4.000                     | 4.000                       |
| Consommation de combustible (tonnes)..... | 245          | 780                       | 1.140                       |
| Provision d'eau (tonnes).....             | 95           | 295                       | 315                         |
| Déplacement.....                          | 6.140        | 7.130                     | 7.825                       |
| Tonnage net.....                          | 1.525        | 1.775                     | 1.550                       |
| Volume des cales (mètres cubes).....      | 6.230        | 7.190                     | 6.740                       |
| Tirant d'eau.....                         | 6 m. 90      | 6 m. 8                    | 6 m. 80                     |
| Puissance en chevaux.....                 | 1.350        | 1.230                     | 1.500                       |
| Vitesse moyenne.....                      | 20           | 10                        | 10                          |
| Prix du bateau (couronnes).....           | 2.060.000    | 2.250.000                 | 2.290.000                   |
| Dépenses d'exploitation.....              | 62.500       | 117.050                   | 95.950                      |
| — (dont pour combust.).....               | 49.750       | 80.850                    | 81.150                      |
| Assurances, courtage, etc.....            | 83.700       | 88.500                    | 89.700                      |
| Coût par tonne transportée.....           | 36,5         | 50,2                      | 46,5                        |



M. Barfoed n'a pas tenu compte des charges de capital et d'amortissement, et c'est regrettable; il a de plus admis que les Diesel n'entraînent pas de séjours dans les ports, d'immobilisations et de frais de réparation, ce qui est contestable. Quoi qu'il en soit de ces chiffres, ils montrent les avantages que l'avenir ne tardera sans doute pas à réaliser.

\* \* \*

Il nous reste à faire ressortir le rôle glorieux que joue le moteur à pétrole et à essence dans la navigation aérienne; mais nous serons extrêmement bref, parce que les faits parlent ici d'eux-mêmes; du reste, nous avons déjà traité surabondamment de la question, au cours de cet ouvrage.

Après avoir pris dans la guerre une part considérable aux opérations militaires, l'aéronautique devient une industrie de transports commerciaux et postaux, dont la caractéristique spéciale réside dans une prodigieuse rapidité, qui économise surtout le temps, cette monnaie de l'activité humaine. Les vitesses de 200 kilomètres à l'heure ne sont plus l'audacieuse recherche d'un périlleux record; elles servent de base à des horaires officiels sur des lignes intercontinentales, qui établissent des communications régulières, entre l'Europe occidentale et les deux Amériques, l'Europe septentrionale, l'Afrique, les Indes et l'Extrême-Orient. On prendra, si l'on ne prend déjà, un billet de Paris pour Buenos-Ayres, distance, 12.000 kilomètres; durée du voyage, soixante heures environ; prix, 10.000 francs (1). Un départ par semaine, jour J, heure H. Ne faites pas votre testament avant de vous embarquer : il n'y a eu, en 1920, que 10 tués et 14 blessés sur 3 millions de kilomètres parcourus. En 1921, les services aériens de France ont transporté, à des prix tarifés, près de 14.000 voyageurs, quelques tonnes de colis postaux et non loin de 150 tonnes de messageries; nous avons déjà organisé dix lignes aériennes exploitées par de puissantes sociétés, au capital total d'au moins 26 millions de francs, disposant de plus de 200 avions.

On peut estimer à 100.000 chevaux la puissance des nefs de l'air comprenant le moins lourd et surtout le plus lourd que l'air. Le septième Salon de locomotion aérienne tenu à Paris, en novembre 1921, a fait voir le développement qu'a pris l'industrie aéronautique. Alors que la puissance moyenne des avions restait comprise entre 250 et 1.000 chevaux, on projette maintenant de construire des appareils de 1.200 chevaux, à quatre moteurs, portant des berlines à cinq places; le *Goliath* aura six groupes de moteurs développant près de 3.000 chevaux et il offrira aux voyageurs de confortables berlines à 25 places.

Le *Mammoth* Blériot réalise déjà des performances non moins sensationnelles : c'est un aérobus pouvant enlever 28 passagers en plus de l'équipage et

1. Ces chiffres ont été donnés par M. Louis Bréguet, dans *l'Aviation d'hier et de demain*.



naviguer pendant 7 heures à la vitesse de 130 kilomètres à l'heure. Ce gigantesque biplan mesure 27 mètres d'envergure et 150 mètres carrés de surface portante : il pèse 8 tonnes en ordre de marche. Il est muni de 4 moteurs Hispano-Suiza de 300 chevaux, répartis sur les plans supérieur et inférieur, logés dans des carlingues indépendantes et actionnant des hélices tractives. J'emprunte ces données à *la Nature* (8 novembre 1919).

La vitesse réalisée par Sadi Lecointe, le 21 septembre 1922, et qui lui a permis de battre les records du monde, a atteint 346,153 kilomètres à l'heure; on la dépassera en naviguant aux altitudes élevées, et en se tenant dans les zones qui deviendront les grandes routes aériennes de demain.

Le record de durée atteint trente-six heures de vol sans atterrissage.

Rien de tout cela n'existerait si le moteur à essence n'était pas.

\* \* \*

Le rapide exposé que nous venons de tracer des applications nombreuses et variées des moteurs à gaz et à pétrole, à toutes les branches de l'industrie, constitue le résumé et la conclusion de ce livre dans lequel nous nous sommes efforcé de dessiner un tableau exact et fidèle de ce qui est déjà réalisé, sans rien exagérer de ce qui est bon, mais aussi sans rien dissimuler de ce qui est moins favorable. Les progrès sont incessants et continus, et chaque jour apporte encore un document inédit : l'histoire des développements acquis et des services rendus par ces moteurs s'enrichit constamment de quelque fait nouveau; c'est qu'en effet l'évolution de ces machines n'est point encore achevée.

L'œuvre de Lenoir et de Beau de Rochas n'a, du reste, encore qu'une soixantaine d'années !

FIN

---







# TABLE DES MATIÈRES

## TOME SECOND

| CHAPITRE IX   | Pages. | CHAPITRE X  | Pages |
|---|--------|---|-------|
| <b>Les Carburateurs.</b>  |        | <b>Les Gazogènes.</b>   |       |
| 1. — Éléments d'un carburateur...   | 3      | <i>Classification. — Monographies.</i> 27                     |       |
| 2. — Théorie du fonctionnement du carburateur.....                            | 5      | 1. — Gazogènes à tirage direct avec épuration.....            | 29    |
| 3. — Classification des carburateurs.   | 7      | 1 <i>Gazogène Dowson</i> .....                                | 31    |
| 4. — Carburateurs à essence.....  | 8      | 2 <i>Gazogène Ollo</i> .....                                  | 34    |
| 1 <i>Carburateurs Longuemare</i> ....   | 9      | 3 <i>Gazogène Lencauchez</i> .....                            | 35    |
| 2 <i>Carburateur Panhard</i> .....  | 10     | 4 <i>Gazogène Pierson</i> .....                               | 37    |
| 3 <i>Carburateur Zénith</i> .....   | 11     | 5 <i>Gazogènes Letombe</i> .....                              | 39    |
| 4 <i>Carburateur Mercédès</i> .....   | 14     | 6 <i>Gazogène Gardie</i> .....                                | 43    |
| 5 <i>Carburateur Fiat</i> .....   | 15     | 7 <i>Gazogène Winterthur</i> .....                            | 44    |
| 6 <i>Carburateur Vici</i> .....   | 15     | 8 <i>Gazogène Crossley</i> .....                              | 46    |
| 7 <i>Carburateur Solex</i> .....  | 16     | 9 <i>Gazogène Koerting</i> .....                              | 47    |
| 8 <i>Carburateur Claudel, etc</i> .....                                       | 16     | 10 <i>Gazogène Krupp</i> .....                                | 49    |
| 5. — Carburateurs à alcool (Martha, Gobron-Brillié, Brouhot, Japy, etc.)..... | 17     | 11 <i>Gazogène Poetter</i> .....                              | 52    |
| 6. — Carburateurs-vaporisateurs à pétrole.....                                | 21     | 12 <i>Gazogène Piat</i> .....                                 | 53    |
| 1 <i>Carburateur Claudel</i> .....  | 21     | 13 <i>Gazogène Boutillier</i> .....                           | 55    |
| 2 <i>Carburateur Vici</i> .....   | 22     | 14 <i>Gazogène Caiteau</i> .....                              | 58    |
| 3 <i>Carburateur Aster</i> .....  | 23     | 15 <i>Gazogène Tangye</i> .....                               | 61    |
| 4 <i>Carburateur Bellem-Brégeras</i> ..                                       | 24     | 16 <i>Gazogène Hanappe</i> .....                              | 62    |
| 5 <i>Carburateur Eclipse</i> .....  | 24     | 17 <i>Gazogène Béchevot (Ignis), etc.</i>                     | 63    |
| 6 <i>Carburateur Le Grain, etc</i> .....                                      | 25     | 2. — Gazogènes à mécanismes.....                              | 65    |
|   |        | 1 <i>Gazogène Kitson et Walker</i> ...                        | 66    |
|   |        | 2 <i>Gazogène Fichet et Heurtey (Heurtey et Sauvageon)</i> .. | 67    |
|   |        | 3 <i>Gazogène Winterthur</i> .....                            | 73    |



|  | Pages. |
|--|--------|
| 4 Gazogène Chavanne-Brun ( <i>Morgan</i> ).....                    | 75     |
| 5 Gazogène Bollinckx.....  | 76     |
| 6 Gazogène Parsy.....  | 78     |
| 7 Gazogène Chapmann.....   | 78     |
| 8 Gazogène Pineau.....   | 79     |
| 9 Gazogène Leflaive, etc.....                                      | 79     |
| 3. — Gazogènes à tirage renversé...                                | 80     |
| 1 Gazogène Riché.....  | 81     |
| 2 Gazogène Pintsch.....  | 84     |
| 3 Gazogène Letombe.....  | 86     |
| 4 Gazogène Fichet et Heurley<br>( <i>Heurley et Sauvageon</i> )... | 87     |
| 5 Gazogène Salmson.....  | 90     |
| 6 Gazogène Faugé-Chavanon...                                       | 91     |
| 7 Gazogène Fornas, etc.....  | 91     |
| 4. — Gazogènes à récupération.....                                 | 94     |
| 1 Gazogène Mond.....   | 95     |
| 2 Gazogène Duff.....   | 97     |
| 5. — Gazogènes spéciaux.....                                       | 98     |
| 1 Gazogène de la Société de Vierzon<br>pour bois.....              | 99     |
| 2 Gazogène Otto, pour lignite et<br>tourbe.....                    | 100    |
| 3 Gazogène Winterthur pour<br>tourbe.....                          | 101    |
| 4 Gazogène Crossley à déchets...                                   | 102    |
| 5 Gazogène Cerasoli, etc.....                                      | 103    |

CHAPITRE XI

**Appareils d'épuration pour gaz de gazogènes, de fours à coke et de hauts fourneaux.....** 105

CHAPITRE XII

**Moteurs à gaz à quatre temps.**

|  | Pages. |
|--|--------|
| <i>Considérations générales. — Monographies</i> .....  | 114    |
| 1 Moteur Otto.....                                     | 133    |
| 2 Moteur Crossley.....                                 | 140    |
| 3 Moteur Koerting.....                                 | 150    |
| 4 Moteur Cockerill.....                                | 153    |
| 5 Moteur Schneider-Creusot....                         | 169    |
| 6 Moteur de la Société Alsacienne                      | 175    |
| 7 Moteur des Etablissements Cail.                      | 182    |
| 8 Moteur Augsbourg-Nuremberg<br>( <i>M.A.N.</i> )..... | 183    |
| 9 Moteur Letombe.....                                  | 194    |
| 10 Moteur Winterthur.....                              | 201    |
| 11 Moteur de Duisbourg.....                            | 213    |
| 12 Moteur Dingler.....                                 | 217    |
| 13 Moteur Ehrhardt et Sehmer...                        | 221    |
| 14 Moteur Thyssen.....                                 | 222    |
| 15 Moteur Union.....                                   | 225    |
| 16 Moteur Haniel et Lueg.....                          | 226    |
| 17 Moteur Schüchtermann et Kremer.....                 | 227    |
| 18 Moteur Galloway.....                                | 228    |
| 19 Moteur Tangye.....                                  | 229    |
| 20 Moteur National.....                                | 232    |
| 21 Moteur Gardner.....                                 | 233    |
| 22 Moteur Westinghouse.....                            | 234    |
| 23 Moteur Bollinckx.....                               | 237    |
| 24 Moteur Calteau.....                                 | 241    |
| 25 Moteur Benz.....                                    | 243    |
| 26 Moteur Mees.....                                    | 243    |
| 27 Moteur Japy.....                                    | 244    |
| 28 Moteur Brouhol.....                                 | 245    |
| 29 Moteur Delaunay-Belleville...                       | 245    |
| 30 Moteur Boudreaux-Vernet....                         | 247    |
| 31 Moteur Forest.....                                  | 248    |
| 32 Moteur Bernard, Ballot, Aster,<br>Milloi, etc.....  | 249    |
| Groupes électrogènes.....                              | 250    |
| Moteurs Compound.....                                  | 253    |



|  | Pages. |
|--|--------|
| <i>Moteurs mixtes gaz-vapeur</i> ....  | 256    |
| <i>Pompe Humphrey</i> .....            | 257    |
| <i>Compresseur d'air Matricardi</i> .. | 260    |

CHAPITRE XIII

**Moteurs à gaz à deux temps**.... 262

|   |     |
|---|-----|
| 1 <i>Moteur Von Oechelhaeuser</i> ....    | 267 |
| 2 <i>Moteur Koertling</i> .....           | 272 |
| 3 <i>Moteur Mather et Platt</i> .....     | 280 |
| 4 <i>Moteur Buckeye</i> .....             | 281 |
| 5 <i>Moteur Vogt</i> .....                | 281 |
| 6 <i>Moteur Froment</i> .....             | 282 |
| 7 <i>Moteur Chorlton</i> .....            | 284 |
| 8 <i>Moteur Sautter-Harlé</i> .....       | 284 |
| 9 <i>Moteur Legros</i> .....              | 285 |
| 10 <i>Moteur Tony Huber et Peugeot</i> .. | 286 |
| 11 <i>Moteur Ixion</i> .....              | 287 |
| 12 <i>Moteur Victoria</i> .....           | 289 |
| 13 <i>Moteur Colmant</i> .....            | 290 |
| 14 <i>Moteur U. D., etc</i> .....         | 290 |
| 15 <i>Moteur Ilmer</i> .....              | 291 |
| 16 <i>Moteur Le Record</i> .....          | 292 |

CHAPITRE XIV

**Moteurs à gaz à combustion.**

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <i>Moteur Gardie</i> ..... | 295 |
|----------------------------|-----|

CHAPITRE XV

**Moteurs à pétrole à explosion**... 299

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 1 <i>Moteur Priestman</i> ..... | 304 |
| 2 <i>Moteur Otto</i> .....      | 307 |

|   | Pages. |
|---|--------|
| 3 <i>Moteur Hornsby-Akroyd</i> .....    | 308    |
| 4 <i>Moteur Grob</i> .....              | 310    |
| 5 <i>Moteur Niel</i> .....              | 312    |
| 6 <i>Moteur Banki</i> .....             | 313    |
| 7 <i>Moteur Bellem et Brégeras</i> .... | 317    |
| 8 <i>Moteur Williamson</i> .....        | 320    |
| 9 <i>Moteur Kromhout</i> .....          | 320    |
| 10 <i>Moteur Millot, etc</i> .....      | 321    |

CHAPITRE XVI

**Moteurs Diesel et semi-Diesel.**

|   |     |
|---|-----|
| <i>Considérations générales</i> .....                   | 325 |
| 1 <i>Diesel M.A.N.</i> .....                            | 348 |
| 2 <i>Diesel-Carels</i> .....                            | 354 |
| 3 <i>Diesel-Sulzer</i> .....                            | 356 |
| 4 <i>Diesel-Guldner</i> .....                           | 361 |
| 5 <i>Diesel-Winterthur</i> .....                        | 362 |
| 6 <i>Diesel-Polar</i> .....                             | 367 |
| 7 <i>Diesel-Tosi</i> .....                              | 368 |
| 8 <i>Diesel-Werkspoor</i> .....                         | 368 |
| 9 <i>Diesel-Blackstone</i> .....                        | 369 |
| 10 <i>Diesel-Sabathé</i> .....                          | 370 |
| 11 <i>Diesel-Dingler</i> .....                          | 371 |
| 12 <i>Diesel-Trinckler</i> .....                        | 372 |
| 13 <i>Diesel-Lietzenmayer</i> .....                     | 373 |
| 14 <i>Diesel-Junkers</i> .....                          | 376 |
| 15 <i>Diesel-Fullagar</i> .....                         | 378 |
| 16 <i>Diesel-Renault (type marin)</i> ..                | 378 |
| 17 <i>Diesel-Germania-Krupp (type sous-marin)</i> ..... | 379 |
| 18 <i>Diesel-Brons</i> .....                            | 380 |
| 19 <i>Diesel Hindl</i> .....                            | 381 |
| 20 <i>Semi-Diesel Crossley</i> .....                    | 383 |
| 21 <i>Semi-Diesel Chaléassière</i> .....                | 384 |
| 22 <i>Semi-Diesel Tuxham</i> .....                      | 384 |
| 23 <i>Semi-Diesel Moreau-Petters</i> ...                | 385 |
| 24 <i>Semi-Diesel Selson</i> .....                      | 385 |
| 25 <i>Semi-Diesel Anglo-Belgian</i> ...                 | 385 |



|  | Pages. |
|--|--------|
| 26 <i>Semi-Diesel Avance</i> .....                           | 386    |
| 27 <i>Semi-Diesel Peugeot</i> .....                          | 387    |
| 28 <i>Semi-Diesel Thomson-Hou-</i><br><i>son, etc.</i> ..... | 389    |
| 29 <i>Diesel mixte Still</i> .....                           | 390    |

CHAPITRE XVII

**Moteurs légers et ultra-légers d'au-**  
**tomobiles et d'avions.**.....

392

|  |     |
|--|-----|
| 1. — Conditions générales d'allège-<br>ment..... | 394 |
| 2. — Les groupements de cylindres.               | 407 |
| 3. — L'équilibrage des moteurs....               | 417 |
| 4. — Monographies des moteurs....                | 426 |
| 1 <i>Moteurs Wright</i> .....                    | 428 |
| 2 <i>Moteur Panhard et Levassor</i> ...          | 429 |
| 3 <i>Moteur Bréguet-Bugatti</i> .....            | 430 |
| 4 <i>Moteur Clément-Bayard</i> .....             | 432 |
| 5 <i>Moteur Benz</i> .....                       | 433 |
| 6 <i>Moteur Mercédès</i> .....                   | 434 |
| 7 <i>Moteur Maybach</i> .....                    | 436 |
| 8 <i>Moteur Antoinette</i> .....                 | 437 |
| 9 <i>Moteur de Dion</i> .....                    | 439 |
| 10 <i>Moteur Anzani</i> .....                    | 440 |
| 11 <i>Moteur Peugeot</i> .....                   | 441 |
| 12 <i>Moteur Pipe</i> .....                      | 442 |
| 13 <i>Moteur Renault</i> .....                   | 443 |
| 14 <i>Moteur Hispano-Suiza</i> .....             | 446 |
| 15 <i>Moteur Lorraine-Diétrich</i> .....         | 447 |
| 16 <i>Moteur Esnault-Pellerie</i> .....          | 452 |
| 17 <i>Moteur Farcol</i> .....                    | 454 |
| 18 <i>Moteur Bristol</i> .....                   | 455 |
| 19 <i>Moteur Gobron-Brillié</i> .....            | 456 |
| 20 <i>Moteur Knight</i> .....                    | 457 |
| 21 <i>Moteur Argyl-Mac Collum</i> ...            | 460 |
| 22 <i>Moteur Gnome</i> .....                     | 461 |
| 23 <i>Moteur Le Rhône</i> .....                  | 464 |

|                                       | Pages. |
|---------------------------------------|--------|
| 24 <i>Moteur Gnome-Le Rhône</i> ....  | 465    |
| 25 <i>Moteur Clerget-Blin</i> .....   | 466    |
| 26 <i>Moteur Salmson</i> .....        | 468    |
| 27 <i>Moteur Laviator, etc.</i> ..... | 468    |
| <i>Pompe à essence A.M.</i> .....     | 469    |
| 5. — Les machines à cycle fermé...    | 470    |

CHAPITRE XVIII

**Les Turbines à gaz.**.....

474

|  |     |
|--|-----|
| 1 <i>Turbine à explosion Armen-</i><br><i>gaud</i> .....         | 477 |
| 2 <i>Turbine à explosion Karavo-</i><br><i>dine</i> .....        | 479 |
| 3 <i>Turbine à explosion Esnault-</i><br><i>Pellerie</i> .....   | 480 |
| 4 <i>Turbines à explosion avec com-</i><br><i>pression</i> ..... | 480 |
| 5 <i>Turbine Stolze à combustion</i> .                           | 481 |
| 6 <i>Turbine à combustion Armen-</i><br><i>gaud-Lemale</i> ..... | 482 |
| 7 <i>Turbine à combustion Kerr</i> ....                          | 486 |
| 8 <i>Turbine à combustion Holz-</i><br><i>warth, etc.</i> .....  | 487 |

CHAPITRE XIX

**Étude comparative des éléments**  
**de construction des moteurs.** 490

|   |     |
|---|-----|
| 1. — Organes fixes. — Presse-étoupe.<br>— Fonds de cylindres et<br>culasses. — Bâtis et pa-<br>liers..... | 491 |
|---|-----|



| Pages.  | CHAPITRE XX                          | Pages.  |     |
|---|--------------------------------------|---|-----|
| 2. — Organes mobiles. — Pistons. —<br>Bielles et crosses. — Arbres<br>et volants..... | <b>Applications des Moteurs.....</b> | 602   |     |
| 3. — Organes de distribution.....   |                                      | 603   |     |
| 4. — Organes de réglage.....  |                                      | 1. — Moteurs de la petite industrie.                      | 603 |
| <i>Régulateur Crossley.....</i>   |                                      | 2. — Moteurs de la moyenne et<br>grande industrie.....    | 614 |
| <i>Régulateur Schaeffer et Budenberg.</i>   |                                      | 3. — Stations d'électricité.....                          | 630 |
| <i>Régulateur Dawson.....</i>   |                                      | 4. — Grandes centrales minières et<br>métallurgiques..... | 638 |
| <i>Régulateur Hartung.....</i>  |                                      | 5. — Élévation d'eau.....                                 | 654 |
| <i>Régulateur Jahn.....</i>   |                                      | 6. — Applications diverses.....                           | 657 |
| <i>Régulateur Guillou, etc.....</i>   |                                      | 7. — Traction et propulsion.....                          | 663 |
| 5. — Organes d'allumage.....  |                                      |   |     |
| 6. — Organes accessoires.....   |                                      |   |     |
| 7. — Conduite des moteurs.....  |                                      |   |     |











|                           | Pages. |
|---------------------------|--------|
| Combustion ralentie ..... | 134    |
| — renversée..... 80,      | 93     |
| Compagnie parisienne..... | 665    |
| Compoundage.....          | 116    |
| Courtoy.....              | 637    |
| Creusot.....              | 575    |
| Crochat.....              | 668    |
| Crossley..... 108, 302,   | 633    |
| Crozet.....               | 421    |
| Cuves jumelles.....       | 61     |

### D

|   |     |
|---|-----|
| Darraeq.....                                | 433 |
| Déclics.....                                | 533 |
| Delahaye.....                               | 17  |
| Delamare-Deboutteville et Malandin.<br>127, | 153 |
| Delco (Allumage).....                       | 450 |
| Démarrage.....                              | 573 |
| Denain-Anzin.....                           | 651 |
| Désintégrateur centrifuge.....              | 111 |
| Désinfecteurs.....                          | 589 |
| Deux temps..... 114, 262,                   | 468 |
| Diagramme des couples.....                  | 416 |
| — Sankey-Diesel.....                        | 326 |
| Diesel deux temps.....                      | 342 |
| Dieulevin.....                              | 252 |
| Distributions de gaz.....                   | 605 |
| Double effet.....                           | 130 |
| Drosne.....                                 | 25  |
| Du Bousquet.....                            | 626 |
| Dufaux.....                                 | 405 |
| Dugald Clerk.... 34, 266, 475, 606,         | 663 |
| Duplex..... 544, 564,                       | 585 |

### E

|                      |     |
|----------------------|-----|
| Eaux de Bâle.....    | 655 |
| — de Saint-Maur..... | 656 |
| Ebelmen..... 34,     | 81  |

### F

|                          | Pages. |
|--------------------------|--------|
| Fichet et Heurtey.....   | 656    |
| Fondations .....         | 590    |
| François..... 42,        | 241    |
| Friche.....              | 109    |
| Fritscher et Houdry..... | 20     |

### G

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Gardner.....                  | 481 |
| Gazogènes .....               | 27  |
| Genty.....                    | 256 |
| Gobron-Brillié.....           | 18  |
| Graisseurs.....               | 581 |
| Groupements de cylindres..... | 129 |
| Guillou..... 562,             | 573 |

### H

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| Herzmark .....                  | 578 |
| Hesselmann (pulvérisateur)..... | 367 |
| Huiles de graissage.....        | 579 |
| Humphrey..... 97,               | 523 |

### I

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| Inertie (Effets d').....         | 418 |
| Injection d'eau..... 149,        | 301 |
| Insensibilité du régulateur..... | 545 |
| Isolateurs.....                  | 591 |

### J

|               |         |
|---------------|---------|
| Japy .....    | 20, 660 |
| Jaubert ..... | 472     |



|                           | Pages.             |   | Pages.        |
|---------------------------|--------------------|---|---------------|
| <b>K</b>                  |                    | Niel.....                               | 125, 543      |
| Kelvin.....               | 265                | Nilmelior.....                          | 565           |
| Kerpely.....              | 67                 | <b>O</b>                                |               |
| Koerting.....             | 18                 | Oildag.....                             | 583           |
| Kraft de la Saulx.....    | 155, 166           | Ordre d'allumage.....                   | 570           |
| Krebs.....                | 10                 | <b>P</b>                                |               |
| <b>L</b>                  |                    | Parafoudre.....                         | 569           |
| Lane.....                 | 605                | Parallèle entre les 2 et les 4 temps... | 114           |
| Lavalette.....            | 568                | Perry.....                              | 606           |
| Lelorrain.....            | 591                | Petroléo-électrique (voiture).....      | 666           |
| Lencauchez.....           | 108, 295           | Pierron et Dehaitre.....                | 33            |
| Leroux.....               | 667                | Pierson.....                            | 610, 631      |
| Letombe.....              | 107, 302, 523, 575 | Poids-heures (Courbe des).....          | 427           |
| Longwy (Aciéries de)..... | 650                | Polycylindres.....                      | 127           |
| Lubrification.....        | 578                | Pokorny et Wittekind.....               | 279           |
| Luchoire.....             | 581                | Premier (Moteur).....                   | 150           |
| Lumet.....                | 383, 403           | Prix comparés.....                      | 608, 626, 635 |
| <b>M</b>                  |                    | Puissances massiques.....               | 401           |
| Magnétos.....             | 560                | Putsch.....                             | 27            |
| Marchis.....              | 46                 | <b>Q</b>                                |               |
| Marcotte.....             | 26                 | Qualitatif et quantitatif (Réglage)...  | 122           |
| Mathot.....               | 316                | Quatre temps.....                       | 117           |
| Métivier.....             | 607                | <b>R</b>                                |               |
| Millot.....               | 252, 660           | Radiateurs.....                         | 584           |
| Modèle allemand.....      | 133                | Raffard.....                            | 592           |
| Mond.....                 | 607                | Ramonéda.....                           | 559           |
| Monobloc Ballot.....      | 251                | Récupération.....                       | 94, 589, 654  |
| Munsch.....               | 126                | Réfrigération des organes..             | 499, 536, 583 |
| Munzel.....               | 127                |   |               |
| <b>N</b>                  |                    |   |               |
| Neustadt.....             | 109                |   |               |



|                               | Pages.   |
|-------------------------------|----------|
| Réglage.....                  | 119, 540 |
| Régularisation du couple..... | 412      |
| Régularité.....               | 622      |
| Régulateur d'inertie.....     | 542      |
| Reinhardt.....                | 125      |
| Renault.....                  | 637      |
| Réversibilité des Diesel..... | 343      |
| Richard-Brazier.....          | 17       |
| Roser et Mazurier.....        | 255      |
| Rotatifs (Moteurs).....       | 461      |

**S**

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| Sans soupapes.....  | 457                                  |
| Scavenging Crossley.....                                  | 143                                  |
| Schneider.....  | 668                                  |
| Schwabe.....  | 502                                  |
| Sekutowicz.....   | 486                                  |
| Self-starter.....   | 572                                  |
| Semi-Diesel.....  | 345                                  |
| Sengier.....  | 628, 634                             |
| Serment.....  | 588                                  |
| Silencieux.....   | 587                                  |
| Société alsacienne.....                                   | 109, 111, 113,<br>589, 640, 649, 653 |
| Société de Moteurs à gaz et d'industrie<br>mécanique..... | 35                                   |
| Sorel.....  | 2, 17                                |
| Soufflantes.....  | 647                                  |
| Soulier.....  | 251                                  |
| Still.....  | 256, 390                             |
| Stock.....  | 662                                  |
| Sulzer.....   | 635, 653, 657, 669,<br>671           |
| Surcompression.....                                       | 194                                  |

**T**

|  | Pages.   |
|--|----------|
| Taris et Berthier.....                 | 423      |
| Theisen.....                           | 111, 651 |
| Théorie des tranches.....              | 134      |
| Thonet.....                            | 634      |
| Tirage renversé.....                   | 80, 93   |
| Tondeur.....                           | 15       |
| Touche ou manque.....                  | 541      |
| Tout ou rien.....                      | 119      |
| Trépidations.....                      | 591      |
| Triplex Letombe.....                   | 129      |
| Tubes d'allumage.....                  | 555      |
| Tuyère fermée ou ouverte (Diesel)..... | 337      |
| Twaite.....                            | 81       |

**U**

|           |     |
|-----------|-----|
| Unic..... | 568 |
|-----------|-----|

**V et W**

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Vaporisateur électrique.....   | 301   |
| Ventilateurs d'épuration.....  | 108   |
| Vergne (De la).....            | 278   |
| Voiture Diesel-électrique..... | 667   |
| Wellington.....                | 556   |
| Wertenbruch.....               | 254   |
| Westinghouse.....              | 666   |
| Winterthur (Société de).....   | 623   |
| Witz.....                      | 42, 55, 99, 154, 173, 294,<br>386, 471, 617 |
| Wolseley.....                  | 577   |

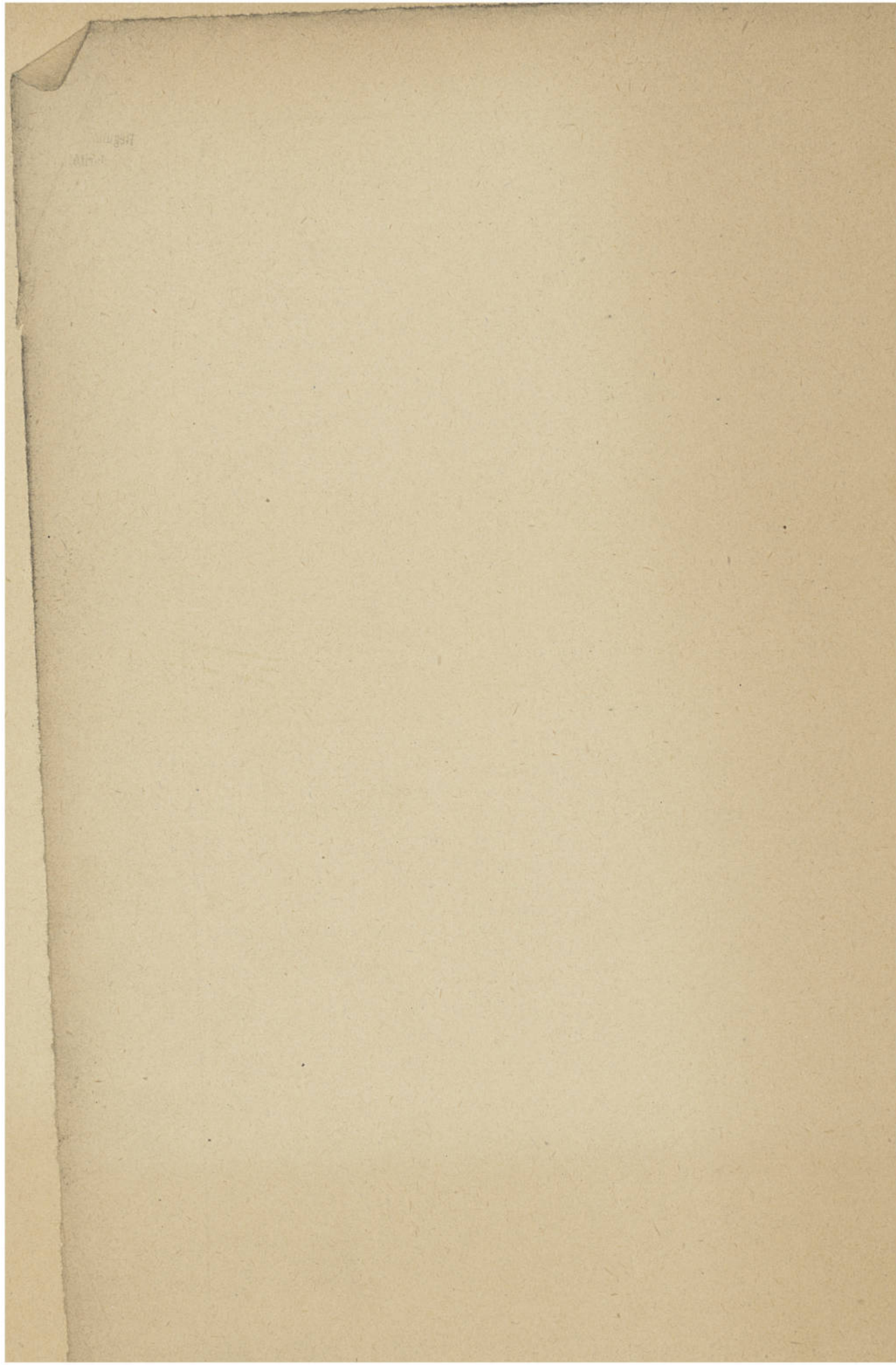


---

Paris. — Imp. PAUL DUPONT (Cl.). — 14.9.1923.

---











# MOTEURS HINDL

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 3.000.000 DE FRANCS

42, 44, 46, Rue Lecourbe — PARIS (15<sup>e</sup>)

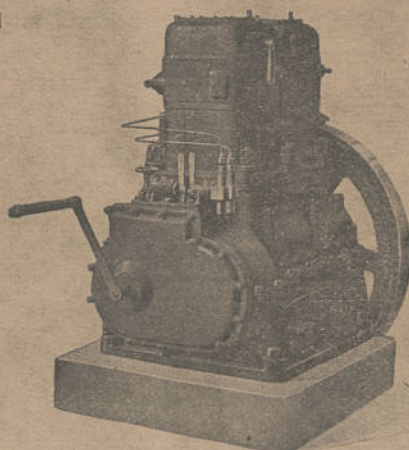
Moteurs Industriels, Agricoles et Marins  
DIESEL DE FAIBLE PUISSANCE

4 - 7 - 10 - 14 - 20 - 30 - 40 chevaux

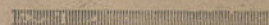
*Mise en route immédiate à la manivelle, à froid, sans boule d'ignition,  
sans lampe de réchauffage, sans compresseur d'air.*



MAXIMUM  
DE  
SIMPLICITÉ  
DE  
Fonctionnement



MAXIMUM  
DE  
SÉCURITÉ  
ET  
d'ÉCONOMIE



CONSOMMATION SPÉCIFIQUE GARANTIE EN HUILE LOURDE DE PÉTROLE :

**220 grammes par cheval-heure.**

Fonctionnement garanti aux huiles végétales et animales.



ENVOI DE NOTICE DÉTAILLÉE SUR DEMANDE

Adr. Télégr. : **Mothindl-Paris.**

Téléphone : **Ségur 79-29, Ségur 57-65**

**PRESSE**