

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX
FACULTÉ DES SCIENCES

Année 1902-1903

LEÇONS

SUR

LES MOTEURS D'AUTOMOBILES

Et les applications industrielles de l'alcool au chauffage, à l'éclairage et à la force motrice

PAR

M. L. MARCHIS

PROFESSEUR ADJOINT DE PHYSIQUE A LA FACULTÉ DES SCIENCES



PARIS (VI^e)

V^{VE} CH. DUNOD, ÉDITEUR

49 — QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS — 49

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX
FACULTÉ DES SCIENCES

Année 1902-1903

LEÇONS

SUR

LES MOTEURS D'AUTOMOBILES

Et les applications industrielles de l'alcool au chauffage, à l'éclairage et à la force motrice

PAR

M. L. MARCHIS

PROFESSEUR ADJOINT DE PHYSIQUE A LA FACULTÉ DES SCIENCES



PARIS (VI^e)

V^{ME} CH. DUNOD, ÉDITEUR

49 — QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS — 49

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

Leçons sur les Moteurs à gaz et à pétrole (Paris, Gauthier-Villars, 1901).

Leçons sur les Machines à vapeur (Liège, Ch. Desoer, 4, rue Gérardrie, 1901).

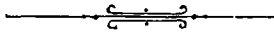
Leçons sur les Méthodes de mesures industrielles des courants continus Paris,
V^e Ch. Dunod, 1902).

A MONSIEUR CLAVEL

*Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées,
Agent Voyer en Chef du Département de la Gironde.*

Hommage de respectueuse sympathie.

Introduction.



Le développement de l'Industrie automobile.

Messieurs,

Le sujet que je me propose de développer devant vous cette année présente, à mon point de vue, non seulement un intérêt d'actualité, mais encore un intérêt presque local. C'est en effet à la suite du triomphe de Levassor dans la course Paris-Bordeaux-Paris que l'industrie automobile a réellement pris l'essor merveilleux que nous constatons aujourd'hui. Avant 1895, l'automobilisme préoccupait un très petit nombre d'initiés; après l'épreuve que je viens de rappeler, le monde du Sport voulut être chauffeur et fit affluer les commandes chez les constructeurs. Tous, en effet, avaient été frappés tant par l'endurance remarquable de Levassor que par la perfection mécanique du moteur et de la voiture que le célèbre chauffeur avait dirigée de bout en bout sans désemparer, pendant les 48 heures employées à faire les 1175 kilom. de l'aller et du retour. La voiture mécanique de tourisme, rapide et légère, était trouvée; elle ne devait pas cesser de se perfectionner.

En effet, à partir de cette époque, les progrès de l'industrie automobile sont vraiment merveilleux; il ne se passe pas de mois, je dirai presque de semaine, qui ne voie apparaître un nouveau perfectionnement. Les constructeurs ne reculent devant aucun essai ni dispendieux qu'il soit; des ingénieurs éminents, mettant leur science au service de la

pratique, étudient les conditions de fonctionnement du nouveau mode de locomotion ⁽¹⁾ et indiquent aux praticiens la voie qui peut les conduire à de nouveaux perfectionnements. Cette coordination d'efforts ne tarde pas à conduire aux meilleurs résultats; elle amène en peu d'années la voiture automobile à un état de perfectionnement qui semble ne devoir progresser que d'une manière lente. Une étude didactique des conditions d'établissement d'une telle voiture semble aujourd'hui possible et ne risque pas d'être trop rapidement démodée.

Par son origine et par ses développements, l'industrie automobile doit être considérée comme une industrie vraiment française.

Cugnot.

Le premier qui ait construit un véhicule à traction mécanique marchant sur route est Cugnot ⁽²⁾, ingénieur militaire français de la fin du 18^e siècle. La voiture, ou fardier de Cugnot était une voiture à vapeur établie en vue de faciliter les transports d'artillerie. Construite sur l'ordre du duc de Choiseul, alors ministre de la guerre, cette voiture fut essayée en présence de M^e de Choiseul, du général de Gribeauval

(1) G. Forestier - Essai d'une étude didactique des conditions d'établissement d'une voiture à traction mécanique sur route (Génie Civil - Tome 35 - 1899).

de Chasseloup-Laubat - La voiture automobile de course à la fin de 1900 (Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils. - Février 1901.)

L. Rochet - Les Automobiles à Pétrole (Annales des Mines - 9^e série. Tome 17. - 1900).

(2) Joseph Cugnot, né à Void, en Lorraine, en Septembre 1725, s'occupa surtout d'art militaire; il a laissé d'intéressants ouvrages sur la façon dont on comprenait la fortification au 18^e siècle; il mourut en 1804 à Paris, n'ayant pour tout moyen d'existence qu'une pension de 1000 francs qui lui avait été accordée par Napoléon Premier.

et d'autres nombreux témoins ; l'expérience fut satisfaisante, mais certains défauts de proportion ayant causé des interruptions dans la marche, une nouvelle voiture fut commandée à l'ingénieur. Malheureusement survint la chute du ministère et le second faxdier à vapeur, terminé en 1771, fut déposé aux établissements d'artillerie dans l'attente d'un essai ; sauvé des mains des démolisseurs en 1793, par L. N. Rolland, il excita l'intérêt de Bonaparte, qui le signala à l'Institut ; mais, cette fois encore, la campagne d'Égypte vint empêcher les essais. Actuellement le faxdier de Cugnot, conservé dans les collections du Conservatoire des Arts et Métiers à Paris, attend encore ses essais. ⁽¹⁾

Développement de l'industrie automobile en Angleterre de 1800 à 1836. La tentative de Cugnot reste sans écho dans notre pays ; c'est en Angleterre que se développe de 1800 à 1836, l'automobile à vapeur. ⁽²⁾

(1) Le faxdier de Cugnot est un tricycle dont la roue avant est à la fois motrice et directrice, disposition avantageuse pour les vitesses modérées, l'application de la force motrice aux roues arrière obligeant soit à sacrifier l'adhérence d'une des deux roues dans les tournants, soit à recourir à l'emploi du différentiel.

Le faxdier de Cugnot est décrit dans différentes publications parmi lesquelles nous citons :

La Revue d'Artillerie (Octobre 1900) qui reproduit des documents authentiques établissant la priorité de Cugnot comme créateur du premier véhicule à traction mécanique ; elle donne notamment le curieux mémoire du général de Tribauval et le rapport de L. N. Rolland commissaire général et ordonnateur des guerres ;

Le Génie Civil (Tome 35. 1899. page 55) [Étude de M. G. Foremier, déjà citée] ;

Géard Lavergne : Manuel théorique et pratique de l'automobile sur route. p. 2 (Paris. Ch. Bémung. : 1900).

(2) On trouve des détails sur le développement de l'industrie automobile en Angleterre de 1800 à 1836 dans les publications suivantes :

Journal of the Society of Arts (2^e Décembre 1895, 3 et 10 Janvier 1896. Canter lectures, Developments of Motor Carriages ;

Orevitick.

En 1803, Orevitick construit une voiture mécanique qui parcourt environ 150 kilom., montant la première transmission de force par engrenages qui ait été appliquée aux automobiles.

Griffiths.

En 1821, Griffiths emploie pour produire la vapeur une chaudière formée de rangées superposées de tubes horizontaux, dans lesquels l'eau commence par se vaporiser et finit par se surchauffer: c'est là le plus ancien spécimen des générateurs tubulaires aujourd'hui si répandus.

Burshall et Hill.

En 1824, Burshall et Hill construisent une voiture rappelant comme forme générale nos mails à 4 chevaux; à l'arrière, le générateur, chauffé par un foyer, muni d'une assez longue cheminée, alimente deux cylindres verticaux à balanciers, qui impriment au véhicule une vitesse de 6 à 7 kilom. à l'heure. Dans cette voiture, nous voyons apparaître le silencex, destiné à amortir le bruit de la vapeur d'échappement.

Gurney,

Hancock.

Mais les voitures qui acquièrent le plus de succès sont les voitures automotrices de Gurney⁽¹⁾ (1828) et surtout

(Suite du renvoi
précédent)

The Automotor. N° 7. p. 250 - Avril 1897;

The Auto-car. 12 Septembre 1896. p. 550;

The Automotor and Horseless Vehicle Journal (N° 5, p. 196; N° 15, Décembre 1897, p. 105; N° 7, Avril 1897, p. 250);

The Engineering Magazine (Sept.^{bre} et Décembre 1897; Janvier 1900);

Worby Beaumont - Motor Vehicles and Motors - 2^e édition. Westminster - Archibald Constable. 1902;

Gérard Lavergne - (loc. cit. p. 4 à 12);

G. Forestier (loc. cit. p. 57 à 59).

(1) Le London Courier du 10 Septembre 1827, contient une description élogieuse de la première voiture à vapeur de Gurney.

La description très détaillée de la voiture de Gurney se trouve dans Worby Beaumont (loc. cit. p. 14 à 17).

celles de Hancock⁽¹⁾ (1829) - 1833). Avec des voitures de Gurney, sir Ch. Dance organise, entre Gloucester et Cheltenham un service régulier, à 4 départs journaliers; la distance de 14 kilom. et demi est franchie en 45 minutes, une heure au plus. Du 21 Février au 22 Juin 1831, ces voitures effectuent plus de 6400 kilomètres, transportant ainsi 3000 personnes. Le 23 Juin, l'essieu de l'une d'elles se rompt et cet accident sans gravité est l'origine d'une campagne fort vive, contre les automobiles⁽²⁾!

(1) Hancock construisit différentes sortes de véhicules tous décrits dans l'ouvrage de Worby Beaumont (pages 8 à 12). Ils sont désignés par les noms suivants: l'Infant (1830-31); l'Éca (1832) construit pour « the London and Brighton Steam Carriage Company » pour le service entre Londres et Greenwich; l'Entreprise (1832) construit pour « the London and Laddington Steam Carriage Company »; l'Autopsy (1833), avec lequel il alla à Brighton et qui fit un service journalier de six mois entre Finsbury Square et Pentonville; l'Écra (1834), qui, avec l'Autopsy, fit, depuis le milieu d'août jusqu'à la fin de Novembre, le service entre la Cité de Londres, Moorgate et Laddington, transportant 4000 voyageurs. Cette même voiture fit en août 1835 le voyage Londres - Malborough et retour, puis plus tard le voyage Londres - Birmingham et retour; elle sert de type à un grand nombre de voitures construites pour « the London and Birmingham Steam Coach Company » qui venait d'être fondée. Enfin des voitures construites sur le type dit l'Automation, firent en 1836 un service régulier entre Stratford, Laddington et Islington; ce service dura environ huit mois et pendant ce temps, les voitures parcoururent environ 4200 milles (6700 kilomètres environ), transportant 12.761 voyageurs et traversant la Cité environ 200 fois. Hancock a publié en 1838 une relation détaillée de ces essais.

(2) Outre les constructeurs que nous venons de citer, il convient d'indiquer les noms de: William Alltoft Sumner et Nathaniel Cyle (1831) qui construisent une voiture faisant jusqu'à 48 kilom. à l'heure; Maccioni et Squizes (1834-1835); Dr Church, dont la chaudière est remarquable pour cette époque; Henry James qui emploie dans les transmissions le joint à la cardan; Scott Russel qui construit des voitures faisant le service entre Glasgow et Paisley.

Locomotive Act.
(1836)

Cette campagne est menée, ⁽¹⁾ disent les uns, par les Comp.^{ies} de chemins de fer et celles de roulage; elle est justifiée ⁽²⁾, disent les autres, par l'imperfection des mécanismes, par la fréquence et la gravité des dérangements, par les dégradations des routes. Quoiqu'il en soit, elle aboutit au vote par le Parlement en 1836 du Locomotive Act. Des droits énormes sont établis sur les transports par automobiles; les roues sont astreintes à une largeur de jante déterminée ou à des droits de circulation énormes; enfin, les voitures doivent être précédées sur les routes d'un homme marchant au pas et agitant un drapeau rouge. Ce règlement équivaut, en somme, à une prohibition: et en fait, jusqu'au 15 août 1896, date toute récente de l'abrogation du Locomotive Act, il ne circule plus en Angleterre que quelques locomotives routières ou de rares voitures légères ⁽³⁾.

(1) Opinion très développée par M. Louis Lockert dans le second volume des *Véhicules Automobiles* et par M. de Chasseloup-Laubat dans les *Poids Lourds* du Catalogue officiel de l'Exposition d'automobiles à Paris en 1898.

(2) Opinion admise par M. G. Forestier dans l'étude déjà citée. M. Forestier s'appuie sur le témoignage de M. Gaby-Cazalat et E. Muyaud (1835) et sur les conclusions du Jury des épreuves du concours de Liverpool en 1898.

D'ailleurs, les aggravations de taxes (heavy tolls) réclamées aux voitures mécaniques par les corporations chargées de l'entretien des routes, se trouvent amplement justifiées par les réflexions des Ingénieurs des ponts et chaussées délégués au concours des *Poids Lourds* de Paris en 1898.

(3) M. Worby Beaumont a fait un historique détaillé de cette période dans l'ouvrage déjà cité. (Chap. II - *The intermediate period*. - p. 28 à 41).

Il convient de signaler les locomotives routières (Road Steamer) construites par Rickitt en 1858 pour le marquis de Stafford et en 1860 par le comte de Caithness; la locomotive routière (Road Steamer) de Carrell et Marshall de Leeds en 1862; la voiture à vapeur (Steam Carriage) de Yanow (1862) qui

Essai de voiture à
vapeur en France.
(1835)

C'est en France que naît, à cette époque l'idée automobile.
En 1835, une voiture anglaise du système Gurney est intro-
duite en France par Ouda. Le 10 Février, elle effectue le voyage de
Paris à Versailles et retour en quatre heures et demie avec un
séjour de 42 minutes à Versailles. La pression de la vapeur dans
la chaudière atteint 11 atmosphères; la puissance de la machine
est de 14 chevaux; le poids de la voiture et son chargement est
de 4500 Kil. Le 15 Mars 1835, la même voiture effectue en 4^h 29^m
le voyage de Paris à St Germain et retour, y compris les arrêts à
Nanterre, aller et retour, pour le renouvellement de l'eau, ainsi
que le séjour à St Germain, soit en tout 62 minutes.

Malgré l'enthousiasme produit par le succès de ces voyages,
enthousiasme dont nous trouvons des traces dans les articles du
Constitutionnel, on semble, en France, à cette époque, avoir aban-
donné le véhicule automoteur pour étudier les véhicules re-
morqueurs.

Remorqueurs
sur routes.
Diets - (1835).

Dans cet ordre d'idées, entre autres inventeurs, il convient
de citer Diets qui, en 1835, construit un remorqueur voyageant
sur les routes ordinaires. Cet ingénieur mérite une mention spé-
ciale, car il semble avoir été le premier à pressentir l'utilité des
bandages élastiques. Ne disposant d'aucun moyen pratique de
réaliser ce desideratum, il cherche à y arriver en interposant
d'abord une couche de feutre goudronné, puis du liège, puis du
caoutchouc, entre la jante proprement dite et le bandage de
roulement, maintenue par des jantes latérales boulonnées sur la
jante. Diets imagine aussi de réunir les rails en bois de ces roues

(Suite du résumé
précédent) marque déjà un grand progrès; celle de Holt (1866-67) qui parcourt sur une route ordinaire de
30 à 35 kilom. à l'heure et monte des cotes de 10% à la vitesse de 8 kilom. à l'heure.

dans un boîtier métallique faisant moyeu. Le 26 Septembre 1835, un de ces véhicules fait en 1^h30^m le voyage aller et retour de Paris à St-Germain, en gravissant la côte du bec en cinq minutes; ce résultat est consigné dans le rapport enthousiaste d'une commission composée de savants tels que Arago, Loncelet, Savary, Gambey, et le baron Séguier, rapporteur.

Locomotives routières. En 1856, la maison Lötz de Nantes acquiert une réputation méritée pour sa locomotive routière agricole destinée au double rôle de machine locomobile pour batteuse, charrue à vapeur, etc..... et de remorqueur de ces engins de la ferme au champ ou d'une ferme à une autre.

Thomson - (1869). En 1869, Thomson met en service à Edimbourg une locomotive routière qui est le premier véhicule à avoir eu des roues avec caoutchouc vulcanisé. ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Plusieurs locomotives routières de ce type furent construites par M. Mc Ransomes et Sims à Ipswich pour le gouvernement de l'Inde en 1871. Le tableau suivant résume les renseignements publiés à cet égard à la suite d'un service régulier de plusieurs mois dans le Penjab entre deux stations distantes de 110 kil. environ.

Nature de la voiture	Diamètre des roues motrices.	Largeur du bandage	Épaisseur primitive	Charge par centimètre carré	Charge en kilogrammes	Diminution d'épaisseur des bandages en caoutchouc, en millimètres.	
						Totale.	Par kilomètre.
Omnibus à vapeur	(mètres) 1,52	(mètres) 0,30	(mètres) 0,125	(kilog) 9,8	17.120	30	0,00173
Remorqueur de 8 chevaux	1,52	0,30	0,125	9,5	4.480	32	0,007125
— id. — 14 id. —	1,829	0,30	0,125	8,1	7.680	81	0,0109
— id. — 14 id. —	1,829	0,30	0,125	11,9	6.720	220	0,0328
— id. — 14 id. —	1,829	0,30	0,125	8,1	5.120	54	0,0105

Nota. Sur les roues directrices, l'usure a été bien moindre pour une pression de 8 Kilg.; au contraire elle a été plus forte lorsque la pression s'élevait à 11^{kg}8.

L'emploi des locomotives routières s'est assez peu répandu; actuellement, elles se sont presque toutes peu à peu transformées en rouleaux compresseurs pour le cylindrage des rechargements des routes. Toutefois, il convient de signaler l'usage qui en est fait pour le service des armées en campagne.

Emploi des locomotives routières pour le service des armées en campagne.

Pendant la campagne de Crimée, en 1854, l'armée anglaise fait usage d'une locomotive routière assez rudimentaire et qui rend cependant quelques services. En 1870, les Allemands emploient 2 locomotives routières du système Fowler et en 1877, pendant la guerre russo-turque, les Russes en font usage avec des résultats assez concluants pour qu'on puisse augurer favorablement de l'avenir de ce genre de locomotion. Enfin en 1899-1900, pendant la guerre du Transvaal, les Anglais emploient des locomotives routières blindées et non blindées qui, au dire du moins des correspondants militaires de la presse, ont tenu les espérances qu'on en avait conçues⁽¹⁾. Il faut toutefois remarquer que les résultats obtenus n'ont peut-être pas été aussi concluants qu'on veut bien le dire puisque ces machines ne se sont répandues ni en Allemagne, ni en France ni en Italie où elles ont été cependant l'objet d'expériences systématiques.⁽²⁾

(1) Voir ce qu'écrit M^e Benuet Burleigh, correspondant militaire du Daily Telegraph, au sujet du passage de la Tugela par le général Buller.

(2) Expériences françaises en 1875. — Borneque. Journal des Sciences militaires. 21^e vol. 1878.

« Les locomotives routières considérées au point de vue militaire ».

Expériences russes en 1876. — (Borneque et major Schultz. Mittheilungen über Artillerie und Geniewesen - 1877). — (O. Layriz. La traction mécanique et ses applications à la guerre. Traduction

Bollée. La locomotive routière de la maison Lotz de Nantes est (l'Obéissante) le point de départ d'une invention qui marque le début de cette période oscillante du développement de l'automobilisme. C'est en effet en 1873 que M^r A. Bollée du Mans construit la voiture automotrice pour voyageurs l'Obéissante; cette voiture à vapeur, dans laquelle 12 voyageurs peuvent prendre place, est munie d'une chaudière Field et de deux pistons inclinés à 45° agissant sur l'essieu d'arrivée; la direction en est facilement assurée par l'avant-train à deux pivots que M^r Bollée vient de combiner en s'inspirant des dispositifs adoptés dans la locomotive de Lotz.

Bollée. En 1880, une voiture plus perfectionnée sort des ateliers (la Nouvelle) du Mans; c'est la Nouvelle, celle-là même qui doit faire en 89 heures 50 minutes la course Paris-Bordeaux-Paris de 1895, dans laquelle elle se classe 9^{me} sur les 33 voitures inscrites, parmi

(Suite de ce qui précède)

Bothenhorst. page 67. Paris. Chapelon).

Emploi des locomotives routières pendant la guerre russo-turque de 1877-78.

(Invalide Russe en 24 Février 1879. O. Layritz, loc. cit. pages 69 à 75).

Expériences italiennes de 1873 à 1883 (Stella Salino. Locomotive Stradoli. Rivista militare italiana du mois d'Avril 1876 — Stella Salino et Nicand li. Rivista militare italiana des mois de Janvier et Février 1883. — O. Layritz, loc. cit. pages 75 à 77.)

Expériences suisses. (O. Layritz. loc. cit. p. 77 à 80).

Expériences allemandes. (Fascicules-suppléments det 9 du Militär-wochenblatt de 1886).

On a fait tout récemment des essais avec les locomotives Fowler aux manœuvres impériales de Dautzig de 1901. (Münchener allgemeinen Zeitung. Supplément du 14 Octobre 1901).

Expériences anglaises. (O. Layritz. loc. cit. pages 80 à 110).

(G. Espitalier. — Emploi des locomotives routières et des trains blindés en campagne. Génie Civil. T. 38 - 1900-1901 - pages 385 à 389).

lesquelles ne figure aucune autre voiture à vapeur.

Parties constitutives

Une voiture à vapeur.

La voiture à vapeur est créée. Elle comprend :

- un générateur, ordinairement placé à l'avant du véhicule et alimentant un moteur placé à l'avant quand il est vertical, plus souvent sous le plancher quand il est horizontal ;
- un réservoir à combustible (bouille, coque ou liquide) ;
- un réservoir à eau, placé sous le châssis ;
- un condenseur à air ;
- une transmission avec un changement de vitesse (deux vitesses au plus), l'élasticité du moteur suppléant aux organes mécaniques ;
- un différentiel souvent monté sur l'essieu moteur ;
- aucun organe de marche arrière, cette dernière étant assurée par le renversement de la marche du moteur ;
- un frein agissant directement sur les roues (la contee vapeur est comptée comme l'un des freins supplémentaires) ;
- deux essieux, l'un à deux pivots, ou simplement à cheville ouverte, pour assurer la direction ;
- un châssis ; une caisse ; des appareils de commande et de graissage.

Depuis 1880, chacun de ces organes reçoit tous les jours de nouveaux perfectionnements.

Serpollet.

En 1888, M^r Serpollet introduit en automobilisme son générateur à vaporisation instantanée. Il l'applique d'abord à un tricycle, puis à des voitures de tourisme et enfin à des voitures de course avec lesquelles il établit des records remarquables. C'est avec une de ses voitures pourvue d'une carrosserie spéciale effilée à l'arrière comme à l'avant, que M^r Serpollet fait, en Avril 1902, à Nice, sur le ciment de la Promenade des Anglais

le kilomètre, départ lancé, de la Coupe H. de Rothschild en $29\frac{1}{2}$ secondes ce qui correspond à une vitesse horaire de $120\frac{1}{2}$ Km; c'est avec cette même voiture que, sur la côte de la Curbie, présentant à l'endroit de l'épreuve une pente de 10 centimètres par mètre, il parcourt le kilomètre, départ arrêté, de la Coupe de Caters en $59\frac{1}{2}$ seconde, ce qui correspond à une vitesse horaire de $61\frac{1}{2}$ Km.

Tracteur à vapeur. A côté de ces voitures rapides, se développent les voitures de Dion, Le Blant, -types dites Poids Lourds, c'est à dire les omnibus, les voitures de livraison, les camions, les voitures porteuses et remorqueuses, les simples tracteurs. C'est en 1893 que M. M. de Dion-Bouton créent le premier tracteur c'est à dire une voiture automobile capable de remorquer un véhicule ne présentant qu'un essieu afin que le poids de la charge remorquée soit en partie utilisé pour l'adhérence⁽¹⁾. Peu après viennent M. Le Blant avec son tracteur,

(1) A propos de l'emploi de ces tracteurs, voici l'opinion émise par M. G. Forestier (Genie Civil loc. cit. p. 59):
« Pour résoudre le problème de la traction mécanique de toute charge indivisible dépassant la
« puissance normale et économique de la traction animale, sans imposer la construction d'un faardier
« spécial automoteur dans chaque cas particulier, nous ne voyons que le dispositif suivant :
« le véhicule mécanique serait disposé de manière à pouvoir servir d'avant-train au faardier sur
« lequel on placerait la charge indivisible, comme si la traction animale devait être employée. Cet
« avant-train peut être à 2 roues, à 3 ou 4 roues. Dans le premier cas, l'avant-train sera tout
« entier directeur; dans les deux autres, la roue dans le tricycle ou les deux roues, avants seront
« directrices ».

Il est prouvé d'ailleurs que les véhicules mécaniques porteurs dont le poids atteint de 12 à 15 tonnes en charge ne peuvent fonctionner dans de bonnes conditions que sur des voies spéciales et qu'il faut alors entretenir tout particulièrement. Les constructeurs de véhicules mécaniques ne doivent donc pas dépasser le poids de 8 à 10 tonnes au maximum en ordre de marche par véhicule

M. Scott avec son train routier qui assure depuis plusieurs années des transports réguliers entre Coubevoie et Colombes, entre Pierola et Vintimille en Italie, sur un trajet d'une durée de 6 heures avec 43 Km. de montée. (1)

Cependant, il faut bien l'avouer, la voiture à vapeur née en France, y jouit, actuellement de peu de faveur (2), la vogue appartient tout entière à sa cadette, la voiture à pétrole, dont nous allons

(Suite de notre précédent)

à 4 roues. Comme, avec ces poids, on possède des machines puissantes, capables de remorquer de 15 à 25 tonnes, ces charges doivent être réparties sur 2 ou 3 véhicules attelés au tracteur. On arrive par ce moyen à ne pas entraver la traction mécanique nouvelle et à conserver les routes en bon état. Un tracteur muni de roues de 0^m,25 de largeur et de poids de 8 à 10.000 kilog., marchant à une allure de 6 à 8 Km. à l'heure, cylindré une route comme le ferait un rouleau compresseur; au contraire, les locomotives routières de poids de 15 à 18 tonnes, démolissent les routes les plus solides même avec de larges roues.

(1)

C'est M. Scott qui fournit à l'armée française le type de tracteur actuellement en usage. En ordre de marche, son poids ne dépasse pas 7000 kg.; il est muni de combustible pour 100 kilom. et d'eau pour 60 km. Sa largeur extrême est de 1^m,60 et sa longueur de 5 mètres; il est muni d'un moteur compound de 35 chevaux. — Il peut remorquer 10 tonnes sur les rampes de 7 à 8% et 6 tonnes sur les rampes de 10%; sa vitesse varie de 6 à 10 Km. en pleine charge.

Dans les dernières grandes manœuvres faites dans le sud de la France par les 16^e et 17^e Corps, on a pu voir des trains Scott militaires qui ont effectué un ravitaillement intense dans chacun de leurs corps. Un train Scott a couramment transporté dans 6 fourgons de quoi alimenter 14.400 hommes, à une vitesse de 8 Km. à l'heure dans les rampes les plus difficiles. En dédoublant le convoi on a pu franchir des rampes de 12 à 14 centimètres par mètre.

(2)

Il en est tout autrement en Angleterre et en Amérique. A l'exposition qui s'est tenue, il y a quelques mois, à New-York, on a pu voir 56 véhicules à vapeur (exposés par 15 constructeurs) contre 22 véhicules électriques et 54 véhicules à pétrole. Les voitures à vapeur d'origine américaine et aussi de construction anglaise, étaient également fort nombreuses à l'Exposition (la 4^{me} organisée avec le concours de l'Automobile-Club de la Grande Bretagne) qui s'est tenue, dans les derniers jours d'avril 1902, à l'Agricultural Hall de Londres.

maintenant esquisser le développement et indiquer les causes de succès.
La voiture à Pétrole. De même que la première voiture à vapeur a été Lenoir (1862). construite en France par Cugnot, la première voiture avec moteur à gaz a été également construite en France par Lenoir⁽¹⁾ en 1862. Non seulement Lenoir est l'inventeur du moteur à

(1) Lenoir résout en 1847 le problème de la fabrication de l'émail blanc; en 1851, il invente la galvanoplastie en ronde bosse; en 1855, il découvre le feu électrique pour chemin de fer et en 1856 un premier système complet de signaux pour voies ferrées; en 1860, il donne le moteur à gaz (Brevet du 24 Janvier 1860 sous le N° 43.624 pour moteur dilaté par la combustion des gaz); en 1863, il prend un brevet pour une automobile mue par un moteur à gaz; en 1865, il trouve un système de télégraphe autographique pour transmettre l'écriture et le dessin, appareil perfectionnant l'appareil de Caselli; en 1878, ses recherches sur une méthode d'étamage des glaces lui valent le prix Montyon; en 1880, il se fait remarquer par ses travaux sur le tannage des cuirs, par l'ozone.

Lenoir est mort au mois de Juillet 1900 à l'âge de 78 ans à la Gare de St-Hilaire, près Paris, au moment où l'Automobile-Club de France devait lui remettre une plaque de vermeil comme marque d'admiration pour le premier et véritable inventeur de l'automobile.

Les titres de Lenoir à l'invention du moteur à gaz et de l'automobile sont consignés dans un rapport lu par Charles Jeantaud devant le Comité de l'Automobile-Club de France le 10 Janvier 1900. (Rapport sur la première voiture à traction mécanique mue par moteur à gaz. Les Petites Annales illustrées du Cycle et de l'Automobile: 4^e année N° 134. 20 Janvier 1900. - N° 159. 14 Juillet 1900 - N° 163. 11 Août 1900).

Quelques jours avant Lenoir, mourait à Birmingham à l'âge de 66 ans, le promoteur des roulements à billes, celui qui le premier les rendit pratiques et du même coup rendit possible le développement de toute l'industrie du cycle et de l'automobile. Nous voulons parler de William Brown. Les roulements à billes furent inventés par un mécanicien nommé Joseph Hughes, mais ils furent lancés sur le marché par William Brown vers 1878. Plus heureux que Lenoir, William Brown vit s'accroître très rapidement sa fortune et sa renommée.

à gaz, mais, précurseur heureux, il fait, au mois de Mai 1862, une voiture munie d'un moteur à gaz, qui circule plusieurs fois des ateliers où elle a été construite, rue de la Roquette, à Paris, jusqu'à Vincennes; mais le poids relativement considérable du moteur, le faible nombre de coups de piston (environ 100 par minute), la vitesse insuffisante qui en résulte pour le véhicule, causent son échec. L'idée de Senoir est reprise 15 ans plus tard, en 1877, par M^r Siegfried Marcus de Vienne; mais les journaux viennois qui veulent faire de lui l'inventeur de l'automobile à pétrole, ne nous disent pas si sa voiture a jamais fonctionné.

Siegfried Marcus
(1877).

Delamarre Deboutteville
(1883)

On peut dire que la gasoline n'a réellement actionné une voiture qu'à la fin de 1883. A cette époque, M^r Delamarre-Deboutteville construit le premier tricycle à gaz qui ait, croyons-nous, fonctionné sur une route⁽¹⁾; il combine avec M^r Malandrin un carburateur qui est appliqué d'abord à un moteur fixe (du type Delamarre-Deboutteville et Malandrin), puis à un moteur de voiture à pétrole. Des dispositions de cette dernière, consignées dans leur brevet du 12 Février 1884, ont été reproduites par M^r A. Mitz à la page 559 de son troisième volume des Moteurs à Gaz et à L'Étrole. Ces documents nous semblent fixer, au bénéfice de ces constructeurs, la priorité souvent attribuée à Daimler⁽²⁾ ou à Benz sont les voitures

(1) Le gaz était renfermé dans deux réservoirs en cuivre sous une pression de 10 kilog. et il était livré au moteur par un ingénieux détenteur.

(2) Gottlieb Daimler né en 1834 à Schorndorf dans le Wurtemberg, mort à Carmstadt en Mars 1900. Il fonde en 1872 avec Otto et Langen la fameuse usine de Dautz (Gas. Motoren Fabrik), dont on connaît l'importance pour la construction des fameux moteurs Otto. Dès 1882, Daimler

à pétrole suivent dès 1886 celle des ingénieurs français et ont, à vrai dire, une carrière autrement brillante qu'elle.

Daimler.
(1885).

Daimler est, en effet, le fondateur de cette fameuse usine de Carlostatt qui, après être restée longtemps un laboratoire où furent créés les organes du moteur à pétrole pour l'automobile, est devenue, dans ces dernières années, un centre de production important et la rivale redoutable de l'industrie française qu'elle a fait naître⁽¹⁾. En 1885, Daimler fait breveter son premier carburateur, puis le premier moteur vertical dans lequel tous les organes sont enfermés dans un carter.

Le moteur applicable à la locomotion automobile, léger, robuste, est trouvé; il est essayé dans ce sens dès 1886. Daimler construit la première machine de route composée de 2 roues à la suite l'une de l'autre, dont l'une, celle d'arrière, est actionnée par un moteur d'une puissance d'un demi-cheval; c'est la première bicyclette automobile. Bientôt est construit le premier char à bancs automobile, puis en 1887, un petit tramway actionné par un moteur à un cylindre qui est exposé à Paris en 1889.

(Suite du souoi
précédent)

abandonne l'usine de Dantz et se sépare d'Otto pour mieux consacrer tout son temps à l'étude des moteurs à grande vitesse, les moteurs légers. Il se retire à Carlostatt et se met à l'œuvre dans ce laboratoire d'où devait sortir, quelques années plus tard, le premier et le modèle de la série, longue déjà, des moteurs d'automobiles.

(1) Ce sont les usines de Carlostatt qui construisent les voitures Mercedes dont un type conduit par le Comte Zborowski a fait Paris - Nieme en 26 heures 54 m. 3/5.

Il paraît que ces usines ont accepté de M^r Charles N. Schwab, le grand métallurgiste américain (le roi de l'acier), la commande d'une automobile capable de faire 145 km. à l'heure; le prix convenu est de 60.000 \$ avec 5000 \$ de prime si les conditions imposées sont remplies.

Mais il faut attendre l'année 1890 pour arriver à une application réellement courante et pratique des moteurs à pétrole à la locomotion sur routes.

Lanhard et Levassor,
concessionnaires des brevets
Daimler. (1890).

Cette application est due à M. M. Lanhard et Levassor qui s'assurent, à cette époque, la propriété exclusive pour la France des brevets Daimler. On voit apparaître, le 12 Décembre 1889, le premier moteur français d'automobile construit d'après les brevets Daimler; c'est le moteur à deux cylindres ^{inclinés} en forme de V, qui est abandonné pour des raisons dans lesquelles nous n'avons pas à entrer ici, mais dont le principe et le caractère pratique ont servi de guide à tous nos constructeurs.

En 1891, M. M. Lanhard et Levassor établissent un type de voiture parfaitement viable; cette même année, A. Peugeot (1891). M. Armand Peugeot crée une voiture à pétrole à moteur Daimler qui le conduit sans accident, de ses usines de Valen-tigney dans le Doubs, à Brest.

Schéma d'une
voiture à pétrole.

La voiture à pétrole est créée; elle comprend:

- un réservoir à essence;
- un carburateur, qui transforme l'essence en mélange gazeux carburé;
- un appareil d'allumage, qui produit l'explosion dans le moteur;
- un moteur;
- un refroidisseur de l'eau circulant autour des cylindres du moteur;
- un silencier, qui amortit le bruit des gaz brûlés avant qu'ils s'échappent à l'air libre;
- les transmissions, de composition assez variable, mais

comprenant en général un embrayage, des engrenages de changements de vitesse, un arbre secondaire sur lequel est monté le différentiel, des chaînes actionnant les roues motrices, un dispositif de marche arrière;

deux freins supprimant automatiquement la liaison du moteur et des transmissions, agissant, l'un sur l'arbre différentiel, l'autre sur les roues motrices;

deux essieux, l'un moteur, l'autre directeur;

un châssis, une caisse, des appareils de commande et de graissage.

Les courses

d'automobiles. Nous avons donc en France, dès 1894, des types de voitures à vapeur, de voitures à pétrole, et même, comme nous le verrons, de voitures électriques, qui sont prêts à être livrés. Or, à cette époque, les hommes de sport s'intéressent bien aux essais qu'ils voient faire, ils admirent les résultats qu'on leur annonce, mais ils restent sceptiques et n'achètent pas. Il faut que, dans des épreuves retentissantes, l'automobile se montre sur les routes et fournisse de longues et triomphantes étapes.

Celle est l'origine des courses d'automobiles; leur but est d'abord de faire connaître à tous l'existence et les qualités de la nouvelle locomotion.

Paris-Rouen (1894).

Course du Petit Journal. La première course que l'on peut, sans exagération, qualifier d'historique, est le concours conçu par Pierre Giffard et institué par le Petit Journal entre Paris et Rouen. Dans l'esprit des organisateurs, ce concours est destiné à démontrer qu'il existe des voitures sans chevaux aisément maniables sur toutes les routes, n'exposant les voyageurs à aucun danger, ne coûtant pas trop cher d'achat, d'entretien et de

fonctionnement. Aussi, décide-t-on que la vitesse ne sera pas seule à entrer en ligne de compte et qu'on ne fera pas état d'une vitesse horaire supérieure à 13 km., en y comprenant les arrêts, ou à 25 km., arrêts non compris.

102 véhicules se font inscrire, 38 à pétrole, 29 à vapeur, 5 à l'électricité, 5 à l'air comprimé et 25 de divers autres systèmes. On débute par des épreuves éliminatoires auxquelles l'électricité ne résiste pas, puis on se lance sur la route de Rouen. Il y a 126 kilomètres à parcourir. Le pétrole sort vainqueur de la lutte et les maisons Panhard-Levassor et Peugeot se partagent le premier prix ; la vapeur arrive au second rang avec M. M. de Dion et Le Blant.

Paris-Bordeaux.
(1895).

Le succès de cette course Paris-Rouen est si grand que, pour entraîner définitivement le monde du sport et lui faire connaître les qualités du nouveau mode de locomotion, on organise pour 1895, une seconde course plus longue, plus décisive par conséquent, entre Paris et Bordeaux aller et retour ; près de 1200 kilomètres doivent être parcourus en une seule traite.

Il s'agit, cette fois, d'une épreuve de vitesse, réservée aux véhicules portant au moins deux voyageurs et encore le premier prix ne doit-il être attribué qu'à des voitures à quatre places. 46 véhicules s'inscrivent dont 29 à pétrole, 15 à vapeur et 2 seulement à l'électricité. M. Levassor, qui conduit la voiture Panhard-Levassor à deux places, arrive le premier en 48^h, 48^m ; le quatre-places Peugeot arrive second en 59^h, 48^m et remporte le prix, aux termes mêmes du programme. Les voitures à vapeur sont restées en chemin ainsi que l'électricité, malgré tous les efforts de M. Janteaud, qui ne néglige aucune dépense pour essayer de conjurer le désastre.

*Tableau de quelques-unes des principales vitesses obtenues par des automobiles
depuis la création des Courses.*

(Locomotion. 2^e année. N° 27. — 5 Avril 1902.)

Dates.	Epreuves	Gagnants	Distance	Temps.	Vitesse moyenne à l'heure.
1895 17 Juillet	Paris - Bordeaux - Paris	Levasseur <small>(sur voiture Landaul (constr.)</small>	Kilomètres 1 175	h. m. s. 48 48 "	kil. m. 24.428
1896 9 Mai	Bordeaux - Langon	Bord	48	1 55 "	25.043
24 Mai	Bordeaux - Agen - Bordeaux	Bousquet	286	10 56 "	27.682
20 Septembre	Paris - Nantes - Paris (Mot.)	Mayade	103	4 22 55	23.587
24 Septembre	Paris - Marseille - Paris	Mayade <small>(sur voiture Landaul (constr.)</small>	1 720	67 42 58	25.399
1897 29 Janvier	Marseille - Nice - Monte-Carlo	de Champagny-Sauval	233	7 45 9	30.064
4 avril	1 ^{re} épreuve des Motocycles	Pich	100	3 9 5	31.742
20 Juin	1 ^{re} Coupe des Motocycles	L. Bodlée	100	2 46 47	36.144
24 Juillet	Paris - Dieppe	Jamin	161	4 13 33	38.181
14 août	Paris - Trouville	Jamin	174	3 48 56	45.789

1898	Marseille - Nice	Charon	226	6 53 45	32. 832
6 Mars	Paris - Roubaix (Mot.)	Degrain	287	7 29 "	38. 351
10 Avril	2 ^{me} Critérium des Motocycles	L. Bollée	100	1 57 49	51. 282
11 et 12 Mai	Paris - Bordeaux	R. de Knyff	587,5	15 15 44	37. 573
29 Mai	Bordeaux - Agen	Lelich	143	3 1 15	47. 403
5-17 Juillet	Paris - Amsterdam - Paris	Charon <small>(du milieu - Rabaut (coachman))</small>	1502	33 4 34	45. 422
21 Août	Bordeaux - Biarritz	Loyselet	300	6 48 "	44. 117
1899					
2 Avril	Paris - Roubaix (Mot.)	Comont	287	5 35 30	51. 405
6 Avril	Paris - Bayonne - Pau	Semaitre	206	3 52 56	53. 048
24 Mai	Paris - Bordeaux	Charon	587,5	11 43 20	49. 400
16 au 25 Juillet	Tour de France	R. de Knyff	2300	42 33 39	54. 445
27 Août	Paris - Evrouville	Antony	172	2 58 30	57. 967
17 Septembre	Paris - Boulogne	Giraudot	230	4 17 44	61. 479
30 Sept. ^{bre}	Bordeaux - Biarritz	Sevregé	300	4 24 "	68. 181
1900					
22 Janvier	Pau. Circuit du Sud-Ouest	R. de Knyff	335	4 46 57	70. 040
30 Mars	La Erubie (Course de côte)	Sevregé	16	19 2	50. 526
3-4 Juin	Bordeaux - L'Éguissem - Bordeaux	Sevregé	318	4 1 45	79. 584
25-28 Juillet	Paris - Evrouville - Paris	Sevregé	1348	20 50 9	64. 704
4 Novembre	Paris - Rouen (Critérium de l'alcool)	Giraud.	130	2 15 "	56. 296

Vitesses des automobiles (suite).

Dates	Epreuves	Gagnants	Distance	Temps	Vitesse moyenne à l'heure
			Kilomètres	h. m. s.	k. m.
1901					
17 Février	Grand Prix de Pau	Maurice Faimey	340	4 28 10	76.109
12 Mars	Coupe Rothschild, côte Eucrie	Lucie Subicki	7,5	11 $\frac{2}{5}$	42.545
25 Mars	Nice - Salon - Nice	Dr Laskal	462	6 45 "	68.444
29 Mars	Nice - La Eucrie (côte)	Picmanis (moto.)	15,5	17 21	53.000
29 Mai	Laris - Bordeaux	Fournier (Mors)	587,5	6 7 44	90.000
27-28-29 Aug	Laris - Berlin.	Fournier (Mors)	1193	17 3 43	69.970
1902					
7 Avril	Nice - La Eucrie	Mead (Mercedes)	15,5	16 38	56.134
Mai	Circuit du Nord	Maurice Faimey (Panhard Lenoir)	910	12 1 52	75.600
20 Juin	Laris - Dienne.	L. Renault.	1360	26 35 "	51.950
20 Juillet	Concours de côte de Laffrey	Armand (Péneau Hygie Courauq)	6,5	10 "	39. "
31 Juillet	Circuit des Steppes.	Mucrot (Panhard Lenoir)	512,4	5 53 40	86.700
26 Août	Le kilomètre à Neuville	Gabriel (Mors)	1 kilom. lancé	26	136.300
21 Sept. ¹⁹⁰²	Concours de côte de Gaillon	Le Blon (Serpellet)	1 kilomètre	40	90. "

Records du monde à la date du 9 Décembre 1902.

Genre de véhicule	Marque et Conducteur.	Le kilom. en	Moyenne à l'heure sur le kilom.	Le mille en	Moyenne à l'heure sur le mille.
Motocyclette (au-dessus de 50 kilos)	Carreau (Maurice Fournier)	(non constaté)	"	1 ^{m. sec.} 1, 5	89 ^{k.} , 131
Motocyclette (au-dessus de 50 kilos)	Griffon (Lambertjack)	39 ^{sec.} $\frac{1}{5}$	91 ^{k.} , 836	(non constaté)	"
Motocyclette	Buchet (Rigal)	32 ^{sec.} $\frac{3}{5}$	110, 429	53 ^{sec.} , 3	107, 784
Véhicule	Lauvy-Ebellier (Ebellier)	36 ^{sec.} $\frac{1}{5}$	99, 447	58 ^{sec.}	99, 447
Véhicule légère	Pocauville (Eheig)	30 ^{sec.}	120, "	48 ^{sec.}	118, 421
Véhicule	Mors (Henry Fournier)	29 ^{sec.}	124, 137	46 ^{sec.}	125, 874
Véhicule à vapeur	Garmer-Sepoldt (S. Sepoldt)	29 ^{sec.} $\frac{4}{5}$	120, 805	(non constaté)	"

Le pétrole triomphe. Aussi l'épreuve Paris-Bordeaux-Paris est-elle à peine terminée que les constructeurs d'automobiles à pétrole songent à faire mieux, en organisant en 1896 la course Paris-Marseille-Paris.

Paris-Marseille.
(1896). Il s'agit de parcourir 1720 kilom. en 10 étapes de jour. 52 véhicules entrent en ligne, dont 48 à pétrole et 4 à vapeur. Malgré de violents coups de vent qui assaillent les voyageurs en cours de route, la voiture Panhard-Levassor rentre à Paris après avoir parcouru 1720 km. en 67^h, 43^m, ce qui fait de 25 km. à l'heure.

Accroissement continu de la vitesse dans les courses. A partir de ce moment, chaque année ^{organiser} de nouvelles courses dans des conditions de plus en plus difficiles; la vitesse a une tendance continue et progressive à augmenter. On peut en juger par le tableau que nous avons établi aux pages 20 et suivantes, et qui donne quelques-unes des principales vitesses obtenues par les automobiles depuis la fondation des courses.

Ce tableau nous montre que la vitesse moyenne horaire, qui est de 20 km. en 1894, dans Paris-Rouen, prend successivement les valeurs suivantes :

en 1895	— Paris-Bordeaux-Paris	_____	24 km. environ
en 1896	— Paris-Marseille-Paris	_____	25 — id. —
en 1897	— Paris-Crouville	_____	46 — id. —
en 1898	— Paris-Amsterdam-Paris	_____	45 — id. —
en 1899	— Paris-Bordeaux	_____	49 — id. —
en 1900	— Paris-Toulouse-Paris	_____	65 — id. —
en 1901	— Paris-Berlin	_____	70 — id. —
en 1901	— Paris-Bordeaux	_____	90 — id. —

Ces résultats ne peuvent être obtenus que par une

construction de plus en plus soignée et c'est, à ce point de vue que les courses ont exercé une influence bienfaisante sur l'industrie automobile. On peut dire que c'est à elles que cette industrie doit les progrès remarquables qu'elle a faits en France, de 1895 à 1902.

De l'utilité des courses d'automobiles.

Ces courses permettent, en effet, de mettre en relief les qualités d'endurance qu'il faut à une voiture pour accomplir sans accroc un long parcours. Il ne suffit pas, pour gagner une course, de marcher vite; il faut marcher longtemps. La voiture qui a des pannes ne gagne pas. La course, mieux que toute autre indication, montre au constructeur pourquoi ses voitures sont restées en arrière, alors qu'aux essais, elles avaient donné de brillants résultats.

Les fabricants d'automobiles ne tiennent pas toujours compte des vœux de leurs clients; ils ont rarement confiance dans la sagacité et la justesse des observations que ceux-ci peuvent faire sur les défauts que présente tel ou tel organe de leur voiture. Il n'en est pas de même des coureurs de profession, de ceux que, pour employer une expression à la mode en Amérique, on appelle les Rois de la Route; ils savent fort bien se faire écouter des constructeurs et font profiter leur voiture de course des perfectionnements dont ils demandent l'application. Si le succès de la course les sanctionne, ces progrès sont définitivement adoptés et sont appliqués aux voitures de tourisme. C'est ainsi que l'on a été amené à donner plus de fixité dans la direction en augmentant l'épaulement des essieux, ce que l'on appelle l'empattement; dans la voiture qu'en 1895 Levassor conduisit dans son admirable raid Paris-Bordeaux et retour, l'empattement est de 1^m,30; il est porté successivement à 1^m,70 dans

la course Paris-Marseille-Paris; à 2^m,10 dans le Tour de France; à 2^m,25 dans la course Paris-Toulouse-Paris; à 2^m,40 dans Paris-Berlin.

On voit les radiateurs ou condenseurs à surface à l'expérience des coureurs qui ont remarqué qu'avec ces appareils, on évite les arrêts pour renouveler l'eau de réfrigération du moteur qui est devenue trop chaude. Ce sont les inconvénients mis en évidence par les courses, qui ont fait perfectionner la suspension de la voiture, sa direction, la carburation, le mode d'inflammation, etc..... Pour se donner une idée nette des meilleures conditions dans lesquelles on construit, actuellement, une automobile, il suffit de se rendre compte de la construction des diverses parties des voitures de course; c'est en se plaçant, à ce point de vue qu'un savant ingénieur doublé d'un sportsman accompli, M^r de Chasseloup-Laubat, a pu dire que la voiture de course est la Voiture de demain.

La voiture de course est un engin dangereux, qu'il convient de ne confier qu'à des professionnels.

Mais il faut bien le dire, cette voiture de course est un engin, qu'il convient de ne pas mettre entre les mains de tout le monde sous peine d'avoir à déplorer ces trop nombreux accidents que nous voyons se produire tous les jours. Or, c'est là que réside, il nous semble, le grand danger de ces courses de vitesse. Quand une voiture a gagné une course importante, elle est vendue un prix très élevé à quelque sportsman milliardaire qui la lance ensuite sur une route ordinaire à sa vitesse maxima. Or si une automobile lancée à la vitesse de 36 Km. à l'heure (10 mètres par seconde) peut, avec de bons freins, être arrêtée en 4 secondes après avoir parcouru 20 mètres, une automobile lancée à la vitesse de 120 Kilomètres à l'heure (34 mètres par seconde) ne saurait être arrêtée avant 14 secondes après avoir

parcouru environ 500 mètres et cela dans les conditions les plus favorables.

Reaction contre les courses de vitesse. Aussi, des partisans convaincus⁽¹⁾ de la locomotion automobile commencent-ils à craindre que les excès inévitables résultant de cette folie de la vitesse, n'amènent dans le public une réaction défavorable pour cette industrie. Une campagne vigoureuse contre

(1) E. Hospitalier - La mécanique du 120 à l'heure (La locomotion. 2^{me} année. N°47. 23 Août 1902).

L. Baudry de Saunier - Notre Cancer (La locomotion. 2^{me} année. N°49. 6 Septembre 1902).

M. Achéaçon demande la création d'un autodrome où les amateurs de très grandes vitesses pourront se livrer à leur sport favori, à leurs risques et périls et à ceux des spectateurs. D'autres préconisent la construction d'une route spéciale; une telle route reliant Ostende à Dunkerque par Snazkerke et Furnes sera complètement achevée pour le mois de Juillet prochain.

Route spéciale pour les Records du Mille et du Kilomètre. C'est en s'inspirant de cette idée que l'Automobile-Club de France a choisi une route spéciale pour établir les records du kilomètre et du mille (1609^m,32). Cette route est celle qui relie St Arnoult à Douédan, en Seine et Oise. St Arnoult est un petit village situé avant Ablis sur la route de Paris-Bordeaux. Douédan est sur la route de la course cycliste Bordeaux-Paris, par Etampes, entre Amours et la Forêt-le-Roi. La route en question est donc transversale entre ces deux grandes artères; elle court au sommet du plateau qui porte le nom de forêt de Douédan et sépare la vallée de l'Orge (Douédan) de celle de la Remarde (St Arnoult). Sa distance totale est de 7 km; à chaque extrémité, de St Arnoult et de Douédan, la route monte assez fortement pendant 1500 mètres pour aboutir, de chaque côté, à un vaste rond-point en gazon de 80 mètres de large où se trouvent des maisons de garde. Restent donc exactement 4 km. en ligne droite et en palier terminés par ces vastes rond-points où peuvent vider les voitures; cette route a 12 mètres de large et aucun chemin ne la traverse. Cette route a été officiellement et brillamment inaugurée par Henry Fournier qui, sur une voiture Mars Paris-Rienne de 60 chevaux, a battu par un temps peu favorable les records du mille et du kilomètre. Ces nouveaux records établis sont:

Mille anglais (1609^m,32) : 47 sec $\frac{2}{5}$ (ancien record : 48 sec $\frac{2}{5}$) Vitesse horaire 122^k,448.

Kilomètre _____ : 29 sec $\frac{1}{5}$ (_____ id. _____ : 29 sec $\frac{2}{5}$) _____ id. _____ 123^k,29.

ces excès de vitesse commence à porter quelques fruits. Les grandes courses d'automobiles ne sont plus uniquement des courses de vitesse sur des routes bien entretenues; une partie, au moins du parcours présente des difficultés spéciales, susceptibles de mettre à l'épreuve la robustesse et la résistance d'une voiture. Et ce point de vue l'épreuve Paris-Tienne 1902 est des plus instructive; de Paris à Belfort, sur une route excellente, la course est une course de vitesse; mais de Bregenz à Tienne, sur un parcours de 672 Km., les concurrents trouvent des routes accidentées, étroites, sinueuses, tortueuses, coupées de caniveaux et traversant, au milieu des neiges, le grand massif montagneux de l'Orberg, sur des déclivités atteignant jusqu'à 18 centimètres par mètre. Il est certain qu'après avoir surmonté de telles difficultés, les machines qui sont arrivées à Tienne sont de bonne construction et peuvent servir de types pour de solides voitures de tourisme.

Les courses de côte.

Les épreuves de côte répondent aussi à cette tendance de rechercher la véritable automobile pratique, la voiture de tourisme solide et confortable, montant bien les côtes et réalisant des vitesses normales. C'est en vue d'obtenir un tel résultat et de décerner ou de refuser aux voitures automobiles le brevet de bonne routière par tous les chemins, que l'automobile-club

Le concours de côte de Laffrey.

dauphinois organise en 1901, le concours de côte de Laffrey. Les voitures doivent gravir sur la route nationale N°91, entre le pont sur la Romanche, à Vizille (Km. 17.776) et Laffrey (Km. 24.235) une route de 7 Km. large, ne traversant aucune localité, ne présentant aucun tournant dangereux et possédant⁽¹⁾ une pente régulière moyenne de $9\frac{1}{2}\%$ avec un maximum de 13% .

⁽¹⁾ La côte de Laffrey est merveilleusement située au dessus de Vizille, Uriage et de la superbe vallée du bourg d'Osiant.

Au concours de 1901, 23 concurrents entrent en ligne, 19 arrivent en haut de la côte et 15 seulement ont droit au diplôme que l'Automobile-Club Dauphinois délivre à tous ceux dont la moyenne de vitesse est supérieure à 10 km. à l'heure. ⁽¹⁾

Au concours de 1902 (20 Juillet), 29 concurrents peuvent terminer le parcours et parmi eux, 19 montent la côte en moins de 25 min. c'est à dire à une vitesse de plus de 15 km. à l'heure; en particulier, une voiture légère Darracq ne met que 10 minutes à accomplir le parcours, ce qui correspond à une vitesse de 40 km. à l'heure. Ajoutons que ces mêmes voitures montent le lendemain au Lautaret, à 2100 m. d'altitude et à proximité de l'une des routes les plus hautes d'Europe, celle du col du Galibier.

Excursion aux Lyénées.

L'Automobile-Club de Bordeaux, à qui l'on doit organisée par l'Automobile-Club de Bordeaux. une partie de l'organisation des grandes courses de vitesse dont nous avons parlé, ne reste pas en retard sur l'Automobile-Club de Grenoble. Il organise pendant les vacances dernières une excursion automobile dans les Lyénées, non avec des voitures établies spécialement pour la course, mais simplement avec ces véhicules que livre le commerce et que l'on peut rencontrer partout dans la circulation. Ces automobiles parties de Lacun, montent d'abord aux Eaux-Bonnes, puis rencontrent à la sortie des Eaux-Bonnes, une côte ininterrompue de 12 km. à 10% de déclivité qui les mène jusqu'au col d'Aubisque, à 1710 m. d'altitude; certaines de ces voitures gravissent d'ailleurs cette côte à l'allure de 25 à 30 km. à l'heure.

(1) En 1901, la voiture qui met le moins de temps à gravir la côte est une voiture Peugeot qui met à faire le trajet 17 minutes soit 23 km. à l'heure.

En 1902, une bicyclette à pétrole et même un tricycle ont pu monter la côte.

Ces épreuves, qui ont une très grande importance au point de vue pratique, montrent que la fabrication des automobiles est actuellement arrivée à un degré de perfectionnement tel qu'avec ces véhicules, il est possible d'aborder maintenant n'importe quelle route carrossable. ⁽¹⁾

L'alcool-moteur.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que de moteurs à pétrole employés pour actionner les automobiles. Mais le pétrole ou, pour parler plus exactement, l'essence tendent à être remplacés par un nouveau produit, l'alcool pur ou mélangé à l'essence dans des proportions convenables. Dans une leçon ultérieure, nous insistons sur cette question de l'alcool-moteur; pour le moment, remarquons seulement l'intérêt national qu'il y a à faire usage, dans nos moteurs, de combustibles indigènes, au lieu de produits d'importation.

Les premières expériences sur la substitution totale ou partielle de l'alcool à l'essence ont lieu sur des moteurs fixes; cependant, on peut dire que c'est l'automobile qui donne un essor considérable à la question par les manifestations extérieures qui

(1) Un omnibus de Daimler à 12 places (pesant à vide 1919 kg. et en charge 2.940 kg. - moteur de 12 chevaux) est allé, au mois d'Avril, de Nice à Paris, faisant 1100 km. en 45 heures (moy. de 24^k,500) en suivant l'itinéraire suivant: Nice, Cannes, Grasse, Castellane (962^m. d'altitude), le col du Sauteret (1200^m. d'altitude), Digne, Sisteron, Serres (673^m. d'altitude), Grenoble, St-Jean de Bournay (Verc), Lyon, Châlons-sur-Saône, Autun, Auxerre, Melun, Paris; le trajet a été fait dans la neige et la boue sans aucune défaillance du moteur (Juliette Lockert. - de Paris à Nice et de Nice à Paris. - Le Chauffeur. - 25 Avril 1902).

Il convient également de citer le raid suivant. Le chauffeur Cormier et son mécanicien Weisser viennent de faire sur la voiture De Dion-Bouton type Populaire une excursion de 5000 km. à travers l'Europe. Cette voiture s'est vaillamment comportée sur les plus mauvaises routes de Bohême ou de Styrie; elle pesait avec ses deux voyageurs 720 kg. soit 120 kg. par cheval effectif.

Letreano (1898). qui permettent de montrer au public que l'alcool moteur n'est pas un mythe. Un des premiers essais d'automobiles à alcool est fait par M^e Letreano, de Juillet à Octobre 1898, avec une petite voiture Benz de 4 chevaux, qui fonctionne à l'alcool dénaturé ordinaire.

Henriot (1899). D'autre part, une expérience qui fait un certain bruit dans la presse spéciale est faite, le 11 Janvier 1899, par M^e Henriot, pilotant M^e Pierre Giffard dans Paris, en employant de l'alcool à brûler acheté chez le premier épicer venu, et cela sans trop d'inconvénients pour le moteur.

Martha (1899). En 1899, M^e Martha expose au concours agricole d'Amiens une voiture automobile munie d'un moteur de son système avec carburateur attenant aux cylindres, qui est présentée quelques mois plus tard à la Société des Agriculteurs de France.

Enfin plusieurs épreuves automobiles importantes ont lieu successivement en 1899, 1900, 1901 et 1902.

1^{er} Critérium de l'alcool (1899). En Avril 1899, a lieu, sur l'initiative du journal Le Vélo, le premier Critérium de l'alcool; 8 véhicules sont engagés, mais un seul ose affronter le mauvais temps qu'il fait le jour de l'épreuve; la voiture Briest & Demand, de Villers-Cotterets, effectue le parcours de Paris - Chantilly - Paris, soit 136 km. en 8^h, 8^m.

2^{me} Critérium de l'alcool (1900). En Octobre 1900, a lieu le deuxième Critérium de l'alcool, organisé également par Le Vélo avec le concours du Moto-Club de France, sur le parcours Paris-Rouen (127 kilom.). Sur les 48 véhicules présents au départ, 40 parviennent à Rouen dans les délais

Paris-Roubaix (1901) prescrits, soit 83%. Les 7 et 8 Avril 1901, a lieu un concours sur le parcours Paris-Roubaix (279 km), organisé par l'Auto-Vélo sous les règlements de l'Automobile Club de France; sur les 54 véhicules partis de la place de la Concorde, 46 parviennent à Roubaix et parmi eux, 22 en une seule étape et 24 en deux étapes (arrêt à Amiens).

Concours du Ministère
de l'Agriculture.
(Octobre 1901).

En Octobre 1901, le Ministère de l'Agriculture organise des essais capables de faire connaître l'état de l'application de l'alcool comme combustible dans les moteurs; la vitesse des automobiles destinées au transport des personnes est limitée, à 30 Kilom. à l'heure ⁽¹⁾; 47 voitures prennent part aux essais. Enfin en Mai

Circuit du Nord.
(Mai 1902).

1902, le Ministère de l'Agriculture organise une course de vitesse, une course de consommation (tourisme), une course de consommation (véhicules industriels). Les épreuves de vitesse et de tourisme ont lieu les 15 et 16 Mai sur un parcours de 910 km (Champigny-Arras - St Germain-en-Laye) ⁽²⁾; par suite du mauvais temps, l'épreuve est particulièrement dure et 21 concurrents sur 56 peuvent seuls dans l'épreuve de vitesse, accomplir le trajet tout entier. Mais, par suite de ces circonstances elles-mêmes, l'épreuve n'en est que plus démonstrative, au point de vue du rôle de l'alcool en automobilisme; en employant de l'alcool carburé à 50 %, M^r Maurice Farman peut parcourir le circuit tout entier en 12^h 2^m, ce qui fait une vitesse horaire de 75^{km}, 6. Quant à l'épreuve de tourisme ⁽³⁾, elle donne un déchet de concurrents beaucoup moins grand que l'épreuve de vitesse; presque tous les partants parcourent les trois étapes Lortie-Maillet - Amiens - Arras-Abbeville - Abbeville - St Germain.

Véhicules industriels.

Les voitures de course et de tourisme ne sont pas les seules

(1) Parcours: Lortie Maillet, Suresnes, Rueil, Chateau, le Vésinet, le Lecq, St Germain, les Loges, la Croix-du-Maine, distillerie d'Achères (28 Km.) dont deux rampes très dures à la Briqueterie (après le chemin de fer des Moulinaux) et à St Germain (de la Seine à la place Royale).

(2) Parcours: Champigny, Montmizail, Chalons-sur-Marne, Rethel, Guise, St Quentin, Arras; Doullens, St Pol, St Omer, Boulogne-sur-mer, Abbeville, Dieppe, Gisors, Lenon, Mantel et St Germain.

(3) Parcours: Lortie Maillet, Lontoise, Beauvais, Amiens, Doullens, Arras (210 Km); Doullens, St Pol, St Omer, Boulogne-sur-mer, Abbeville (260 Km); Dieppe, Gisors, Lenon, Mantel, St Germain (260 Km).

à prendre part à ces concours. Dans l'épreuve de Paris-Roubaix (le 8 avril 1901), dont nous avons parlé plus haut, on voit apparaître pour la 1^{re} fois des véhicules de commerce, présentés par les maisons Bardon et G. Richard, qui font tout le parcours à vitesse moyenne de 20^{k.} à l'heure. Dans les concours du Ministère de l'Agriculture, les véhicules industriels qui se mettent en ligne attirent l'attention par les conditions brillantes dans lesquelles ils accomplissent un trajet dur et accidenté, avec des charges dépassant 1000 kgr. C'est ainsi qu'un camion léger de la Société Nancéenne pesant, avec sa charge, 3000 kgr. accomplit en 1902 les 85 km. du parcours ⁽¹⁾ en 4^h 2^m, ce qui donne une vitesse horaire moyenne de 19^k,7; un tombereau de la même Compagnie ⁽²⁾, pesant, avec sa charge 9000 kgr., effectue le parcours en 10^h 24^m, ce qui fait une vitesse horaire de 8^k,2.

La question des transports industriels par automobiles semble donc, dès maintenant, résolue. En particulier, ce mode de transport peut permettre à un industriel d'élargir le cercle de sa clientèle. Prenons, comme exemple, le cas d'un minotier dont le rayon d'action est de 20 km. au plus; 40 km. dans une journée étant le maximum de ce qu'on peut demander à un cheval; l'automobile permettant un parcours journalier de 80 km. et plus, lui permet de faire des livraisons de 40 km. sans avoir recours au chemin de fer, aux transbordements, aux camionnages. Ainsi donc, ce mode de

(1) En Mai 1902, le parcours pour les véhicules industriels est Beauvais - Paris (85 km).

(2) Société Nancéenne. Camion léger: poids à vide en ordre de marche: 1396 kgr.
poids utile transporté: _____ 1679
Poids total _____ 3075 kgr.
Tombereau: poids à vide en ordre de marche: 4185
poids utile transporté: _____ 4725
Poids total _____ 8910 kgr.

transport, sans supplanter le cheval, peut le suppléer dans bien des cas, et il est certain que nous allons assister à une certaine évolution de la question des transports, l'automobilisme permettant des applications pour lesquelles le cheval est impuissant. ⁽¹⁾

Voitures électriques. Ces résultats nous montrent que la vapeur, le pétrole, l'alcool peuvent être employés à la propulsion des véhicules sur

(1) Le gouvernement belge va mettre en service au Congo une automobile appelée à faire le transport de vivres et de marchandises entre Sangolo et Kwanjo. La voiture, utilisant l'alcool carburé à la force motrice, pèse 3250 kgr. et transporte une charge utile de 2000 kgr. Aux essais, la vitesse de locomotion a été de 4^m 56^{dec.} pour parcourir 1 km.; la consommation d'alcool carburé à 50% est de 1 décilitre par kilomètre et par 5 tonnes de poids brut. La voiture doit franchir la distance d'aller et retour entre les deux terminus désignés en huit jours.

Une expérience intéressante de tracteur à alcool a été faite le 10 Juin dernier au Havre, en présence de M. le Colonel du Bocage, de l'armée portugaise. Un tombereau de la Société Nancienne mû par un moteur de 12 chevaux et pesant environ 4100 kg., a été installé comme tracteur à la tête d'un train d'essai comprenant en plus du tracteur, 2 canons de 12 cent., dont un à tir rapide; un obusier de 12^m, un obusier de 10 cent. 1/2; le poids total de ces pièces était de 9 tonnes environ. En outre 1000 kgr. de lest avaient été disposés dans la benne du tracteur; enfin une quinzaine de personnes avaient pris place sur le tracteur ou sur les pièces. L'essai a eu lieu entre Le Havre et Harfleur sur un parcours total de 9 à 10 km. présentant une longue côte de 35^m par mètre. Les vitesses ont été (avec alcool carburé à 50%) :

de 6 à 7 kilom. à l'heure en palier, } soit une moyenne de 5^k,5 pour le parcours total.
de 3 kilom. en côte.

Un essai du même genre a eu lieu le 17 Juillet dernier, à Vincennes; le même véhicule chargé de 1860 kgr. a remorqué une pièce de 155 pesant 6250 kgr. sur les routes accidentées qui avoisinent le fort de Nogent. Le poids du train complet était de 12.350 kgr. Les vitesses relevées ont été les suivantes (avec alcool carburé à 50%) :

en palier	10 à 11 km.
en rampe de 3 à 4 %	4 ^k 5
en rampe de 5 à 5 1/2 %	2 ^k 5 à 3 km.

route. En est-il de même de l'électricité? Dans cette voie, l'électricité a précédé le pétrole. En 1881, après que l'Exposition du Palais de l'Industrie eût montré les immenses ressources que l'on pouvait retirer d'une application convenable de l'électricité, Raffard et P. Trouvé construisent un tricycle chargé de 6 accumulateurs Planté. M^r Ayton, en 1882; M^r Park, en 1887, M^r de Graffigny, en 1891; M^r Fonchain d'Armentières, en 1893 et M^r Jeantaud, lancent des voitures auxquelles on arrive à faire porter jusqu'à 54 accumulateurs pesant 500 kgr. Malgré tous ces efforts, l'automobilisme électrique en est encore à ses débuts; nous allons indiquer les causes de cette défaveur.

Formes sous lesquelles l'électricité a été appliquée aux automobiles. L'application de l'électricité aux voitures automobiles a été faite jusqu'à ce jour sous trois formes différentes:

1^{re} - La première de ces formes, la plus répandue, est la voiture accumobile. Elle se compose essentiellement:

- a) d'accumulateurs qui produisent le courant;
- b) d'un ou plusieurs moteurs électriques calés sur un arbre actionnant par engrenages un arbre différentiel qui attaque par des chaînes les roues folles sur l'essieu;
- c) d'un combinateur qui distribue le courant et établit les couplages appropriés à la manœuvre que nécessite, à chaque instant, la conduite de la voiture.

2^{re} - Certaines voitures à pétrole portent des accumulateurs électriques avec dynamo pour faire le chargement; ce sont les voitures pétrolo-électriques, dans lesquelles les accumulateurs servent surtout de volant.

3^{re} - Enfin la troisième forme, absolument différente des deux autres, comporte l'emploi d'une prise de courant en contact avec un fil

ancien, comme dans les tramways de ce système. Ce sont les voitures à trolley.

Sur ces automobiles électriques, un ingénieur des plus compétents ⁽¹⁾ a pu énoncer l'opinion suivante:

« On peut, sans crainte d'exagération, dire que la voiture électrique est, dès aujourd'hui, excellente; peut-être pourrait-on dire parfaite, si ce terme était admissible quand il s'agit de l'industrie où il faut toujours chercher le progrès. Grâce aux qualités particulières des moteurs électriques, la conduite de ces voitures est extrêmement facile; grâce à leur simplicité de construction mécanique, leur marche est sûre et souple. Les types en sont nombreux et variés. Le même problème a été résolu de façons diverses et presque toujours heureuses, grâce à l'ingéniosité des constructeurs. De même, M^e Jeantaud ⁽²⁾ a pu dire: « La voiture électrique est actuellement parfaite. Le moteur, à haut rendement, est presque sans usure; le combinatoire permet de faire varier les vitesses et la puissance du moteur dans des limites très étendues. Les véhicules eux-mêmes, si critiqués dans leur forme dès leur apparition, sont confortables. L'art du carrossier les a rendus élégants. »

Mais si la voiture électrique est presque parfaite au point de vue mécanique, il n'en est pas de même en ce qui concerne les accumulateurs. L'accumulateur au plomb qui est actuellement le seul pratique, ne réalise pas les qualités de légèreté, de solidité, de grande capacité spécifique qu'on lui demande; il grève de frais énormes l'automobile électrique.

(1) A. Monnerqué - Traction électrique urbaine et suburbaine (Rapport au Congrès de Montauban de l'Association Française pour l'avancement des Sciences).

(2) Jeantaud. - Préface des Automobiles Électriques de M. M. G. Sencier et A. Delasalle. Paris. Dunod. 1901.

L'essai fort bien conduit et longtemps soutenu, au prix de lourds sacrifices par la Compagnie générale des Voitures, à Paris, a nettement prouvé qu'en l'état actuel des choses, une exploitation de fiacres électriques était vouée à l'insuccès par l'entretien fort onéreux des accumulateurs. Les voitures n'ont jamais pu parcourir plus de 40 km. sans rechargement de ces accumulateurs; or, dans une ville comme Paris, un fiacre devrait parcourir 60 km. entre deux chargements.

On peut donc dire, avec M. G. Laverigne ⁽¹⁾ que « la voiture
« automobile reste une voiture de grand luxe, et, en somme,
« malgré quelques retentissants records, une voiture urbaine, tant
« que les stations de charge ne seront pas plus répandues chez
« nous. »

Principe des voitures
Pétroéo-Électriques. Cette absence de stations de charge a conduit certains constructeurs à associer le pétrole et l'électricité pour les automobiles; de là la création de voitures pétroéo-électriques. Elles sont essentiellement constituées par un moteur à pétrole d'une faible puissance, 3 à 4 chevaux, qui actionne une dynamo pour le chargement des accumulateurs. Si une rampe se présente, le moteur à pétrole ralentit naturellement, la force électromotrice aux bornes de la dynamo s'abaisse ^{et} quand elle devient inférieure à celle de la batterie, cette dernière se décharge dans la dynamo qui devient ainsi automatiquement réceptrice et concourt avec le moteur à pétrole à la propulsion de la voiture. Pour le démarrage de la voiture, on recourt au moteur électrique, bien supérieur sous ce rapport au moteur à pétrole; la marche arrière s'obtient

(1) G. Laverigne - L'automobile en 1902. 4^{me} partie: Voitures Électriques et Mixtes (Revue Générale des Sciences pures et appliquées - 13^{me} année - N° 20 - 30 Octobre 1902).

de la même façon, avec la plus grande facilité.

Le moteur à pétrole travaille presque constamment à pleine charge et la batterie d'accumulateurs ne travaille qu'à titre d'appoint ou de volant; elle ne se décharge jamais complètement. On espère qu'avec ce régime l'entretien ne sera pas excessif; à cet égard, l'expérience peut seule prononcer.

Voitures à trolley.

L'emploi des accumulateurs au plomb grève la locomotion électrique de frais considérables et en restreint le rôle sur route à celui de locomotion de luxe. Il ne faut pas songer avec eux à des transports en commun économiques. Aussi la simplicité de fonctionnement des tramways à fil aérien a-t-elle tenté les constructeurs qui ont construit des omnibus pourvus d'un archet de prise de courant, comme les tramways; mais il faut y ajouter une batterie d'accumulateurs pour le cas où l'archet quitte le fil, c'est à dire le cas où le courant est interrompu.

Inconvénients du trolley ordinaire.

On peut bien employer le trolley avec conducteur souple remorqué par la voiture même; mais son application aux voitures sans rails ne va pas sans modifications sérieuses.

Effectivement, il faut:

1^o - assurer le retour du courant par un second conducteur et combiner le trolley de manière à ce qu'il suive à la fois les deux fils, le premier pour lui prendre le courant, le second pour le lui amener;

2^o - rendre la liaison du trolley et de la voiture assez élastique pour permettre à celle-ci de croiser et de dépasser les véhicules qu'elle rencontre;

3^o - assurer le changement ou l'échange des trolleys entre les diverses voitures qui empruntent le courant à la même ligne.

D'autre part, le trolley peut bien être employé quand il

s'agit de faibles vitesses, 3 à 4 km, comme par exemple dans le balayage électrique des canaux; mais, pour des transports de voyageurs à grande vitesse, 12 à 16 km. à l'heure, les à-coups sont trop considérables.

Trolley automoteur

Systeme Lombard-Gévin)

Une autre solution consiste à donner à la prise de courant un mouvement propre et concordant avec celui de la voiture; il diffère des précédents en ce que le trolley, au lieu d'être remorqué par la voiture, est automoteur et la précède. Ce problème a été résolu d'une façon ingénieuse par M^e Lombard-Gévin. La voiture est équipée comme d'ordinaire, avec cette différence que son moteur à courant continu, avec enroulement en série, est disposé de manière à envoyer au moteur du trolley le courant triphasé qui doit actionner ce moteur; à cet effet, l'arbre du moteur de la voiture porte, du côté opposé au collecteur, trois bagues reliées à des points convenablement choisis du fil de l'induit; quand le moteur de la voiture tourne, ces trois bagues recueillent le courant triphasé que trois conducteurs amènent au moteur du trolley. La vitesse de ce dernier dépendant du nombre de périodes du courant qui l'actionne et ce nombre de périodes dépendant lui-même du nombre de tours du moteur de la voiture, les deux moteurs tournent synchroniquement; trolley et voiture marchent de conserve. ⁽¹⁾

Tel est l'état actuel de l'industrie automobile au moment de l'ouverture, au Grand Palais à Paris, du salon de l'automobile qui doit nous montrer les nouvelles voitures que les constructeurs

(1) Le câble souple qui relie la voiture au trolley-automoteur se compose de 6 conducteurs: 2 conducteurs principaux amenant le courant continu au moteur de la voiture; 3 conducteurs servant à alimenter le moteur triphasé du trolley; un conducteur servant à alimenter le frein électro-magnétique du moteur triphasé, frein permettant d'immobiliser le trolley à volonté.

toujours en quête de perfectionnements, ont construites pour les épreuves de l'année 1903. Au cours de ces leçons, nous aurons l'occasion de revenir sur ces détails de construction.

Nous voulons simplement faire ici une remarque sur la forme des voitures et par conséquent du châssis; car il y a là, cette fois, un courant d'idées d'un ordre très général et indiscuté.

Le châssis s'est considérablement allongé et les anciennes voitures de jadis hautes et branlantes, comme des tours, courtes et dures à mener dans les virages, ont définitivement vécu. C'est peut-être là que s'est fait sentir de la façon la plus indiscutable et la plus heureuse, l'influence de la course. Il n'est pas aujourd'hui une voiture de tourisme qui ne soit beaucoup plus longue, beaucoup plus basse et de châssis beaucoup plus étroit que les voitures de course qui nous étonnaient au temps de Paris-Amsterdam et du Tour de France. Il est certain, que le nombre des accidents en sera considérablement réduit, et que nous verrons plus rarement dans les tournants ces innombrables chutes qui marquaient invariablement le début de chaque saison lorsque, dans une descente un peu raide et un peu en lacet, le conducteur voulait imiter tel célèbre coureur et prendre en vitesse des virages, avec un véhicule qui n'était point fait pour cela.

L'ancienne voiture automobile tenait encore un peu du char à bancs hippomobile dont elle était sortie; il fut un temps où l'on s'efforçait de transformer par les moyens les plus pratiques et les moins coûteux, l'énorme matériel de voitures à chevaux existantes en voitures automobiles. Depuis, nos illusions sur cette tentative très intéressante au point de vue économique, mais qui se heurtait à des difficultés primordiales, se sont quelque peu évanouies; elles s'évanouissent de jour en jour davantage à mesure que le châssis

devient ce que nous appelons volontiers de plus en plus automobile, c'est à dire se construit de plus en plus suivant les règles et les lois formulées par le but précis que l'on veut atteindre, but qui est de créer un véhicule capable d'aller à une vitesse normale sur n'importe quelle route carrossable. On peut donc dire que la note caractéristique du nouveau Salon est la tendance très nette à construire non plus une voiture sans chevaux, mais une véritable voiture automobile.

D'autre part, le grand nombre de maisons qui ont exposé, la grande affluence des visiteurs venus des diverses parties du monde, nous montrent à quel degré de prospérité est arrivée en France l'industrie automobile. A ce point de vue, notre pays tient actuellement le premier rang; ⁽¹⁾ on compte plus de 30.000 automobiles qui circulent sur les routes françaises.

(1) L'automobile s'est beaucoup moins répandue en Allemagne. Dans les premiers mois de l'année 1900, on comptait à Berlin seulement 24 automobiles pour usage privé; il est vrai, de dire que les automobiles dits *Lois Lerret* étaient en bien plus grand nombre. Mais cette fabrication se développe de plus en plus, surtout à Cannstadt (Société Daimler) et à Mannheim (Société Benz).

En Belgique, l'automobilisme est rapidement devenu populaire, quoique le prix encore élevé des voitures ait fait de celles-ci plutôt un objet de luxe que d'usage général. On estimait qu'à Bruxelles, il y avait, au mois d'Avril 1900, 300 automobiles de divers types, et déjà deux ou trois grands magasins de vente au détail avaient adopté ce mode de transport pour la livraison de leurs marchandises. La fabrique la plus importante d'automobiles est la fabrique nationale d'armes de guerre de Herstall, près Liège.

En Autriche, le commerce des automobiles, quoique à ses débuts, se développe rapidement. Au mois de Mai 1900, il existait des usines d'automobiles à Lienne, à Baden près Lienne; à Nesseldorf en Moravie; à Prague et à Sildes, en Bohême. La fabrique de Nesseldorf produisait 125 automobiles par an, celle de Baden en construisait 150.

Au mois de Mai 1900, il n'y avait pas de constructeurs d'automobiles en Russie, en Hongrie, en Grèce, en Espagne, en Portugal; il y avait seulement 3 usines en Italie (2 à Milan et 1 à Rome).

(Véhicule Industry in Europe. 2^d ed. 21. part. 2. Special Consular Reports. Washington. 1900. et Economiste Français. Février 1901. page 173).

Enfin, la diversité des genres des véhicules exposés nous rappelle combien sont variés les usages auxquels l'automobile se prête chaque jour. Le véhicule mécanique comporte normalement un moteur auquel on peut demander un travail supplémentaire quand la voiture est à l'arrêt, en le débrayant de la commande des roues et en lui faisant mettre en marche tel ou tel engin ; nous citerons l'exemple caractéristique d'une fabrique de coffres-forts de New-York, qui possède une automobile transportant les coffres chez les clients et dont le moteur met ensuite en mouvement une grue qui élève la lourde charge à la hauteur de l'étage où l'on doit l'installer.

Sans passer en revue toutes les applications déjà réalisées de l'automobilisme aux transports industriels, nous ne pouvons nous empêcher de signaler que dans un grand nombre de villes, à commencer par Paris, c'est par des voitures mécaniques, que le transport des correspondances est fait, au moins partiellement ; on a créé de même des balayeuses automobiles, des tonneaux d'arrosage mûs par moteur mécanique, des pompes à incendie où le moteur, après avoir assuré le déplacement de la pompe, commande l'aspiration et la compression de l'eau. Enfin nous ne devons pas oublier deux importantes applications de l'automobilisme, qui datent à peine de 1900 et qui ont déjà pris une grande extension : nous voulons parler d'une part, de la petite navigation et d'autre part, de l'aérostation.

Le moteur à pétrole rend de grands services non-seulement dans la propulsion des canots de plaisance, mais encore dans celle des bateaux de pêche. Aux États-Unis, de nombreuses sociétés de pêche ont installé toute leur flotte à moteur explosif ; quelques-uns de ces navires sont même munis d'un projecteur électrique pour le travail de nuit. Naturellement les dragues et engins sont remontés par le moteur à explosion ; ces bateaux qui ont 13 à 15^m de longueur,

ont des moteurs de 16 à 20 chevaux.

Application des Moteurs légers
d'automobiles à la propulsion des ballons.

Les progrès que l'automobilisme a suscités dans la construction des moteurs légers a rendu possible la révolution du problème de la direction des ballons. A ce point de vue, les moteurs à pétrole semblent actuellement ceux qui doivent être préférés. En effet, le moteur Buchet de 20 ch. à 4 cylindres que possédait M^r Santos-Dumont sur ses derniers dirigeables, ne pesait pas plus de 5 kgr. par cheval; le grand dirigeable de M^r Eclair qui est terminé et qui sera expérimenté aux prochains beaux jours, possède un moteur Moir de 60 chevaux qui ne pèse guère que 5 kgr. à 5 $\frac{1}{2}$ par cheval; enfin, le dirigeable de M^r Lebaudy, dont quelques essais effectués ces jours-ci semblent satisfaisants, est mû par un moteur Daimler de 40 chevaux⁽¹⁾.

Eoutefois la catastrophe du Pax, dirigeable de M^r Severo, qui est arrivée à Paris le 13 Mai dernier, catastrophe qui est probablement due à l'inflammation par le moteur de l'hydrogène sortant du ballon sous l'influence de la dilatation par suite de la force ascensionnelle et de la hauteur, montre que l'emploi de tels moteurs n'est pas sans danger et que des précautions spéciales doivent être prises pour isoler la masse du gaz qui sert à gonfler le ballon. Un autre désavantage de l'emploi des moteurs à pétrole résulte du délestage continu du combustible, délestage

(1) On nous annonce un Santos-Dumont N^o 7, de 1257 mètres cubes pour un allongement de 49 mètres et un diamètre maximum de 7 mètres. La proue armée, de 30 mètres de longueur porte à ses extrémités deux moteurs Clément de 80 à 100 chevaux chacun, pesant 3 kgr. par cheval et actionnant deux hélices de 5 mètres de diamètre.

Remarque. — La mode consiste actuellement à désigner les Ballons dirigeables sous le nom d'Aéronats que quelques-uns proposent de remplacer par le terme plus euphonique et plus gracieux d'Aérométs.

qui fait varier la stabilité de route.

Aussi dans le dirigeable qui, paraît-il, se construit actuellement au parc d'aérostation de Chalais, et qui doit être essayé au printemps, M. M. Renard abandonnent le moteur à pétrole pour revenir au moteur électrique. Celui-ci a l'avantage de ne pas donner de trépidations, d'être, d'un réglage facile et de ne pas varier de poids; mais il nécessite jusqu'ici un générateur d'électricité, pile ou accumulateur, d'un poids trop considérable. Ainsi le poids total (piles et moteur) emporté par M. M. Tissandier, pour une durée de $2^h\frac{1}{2}$, était de 225 Kgr. pour un moteur de $1^h\frac{33}{4}$, ce qui met pendant cette durée le poids moyen du cheval-heure à 68 kgr. M. M. Renard et Krebs emportèrent 400 kgr. de piles, pour fournir, sans renouvellement de liquide, 9 chevaux pendant $1^h\frac{3}{4}$, ce qui met le cheval-heure à 25 kgr. en moyenne. Les nouvelles expériences projetées par M. M. Renard nous disent probablement si le moteur électrique l'emporte actuellement sur le moteur à pétrole.



Chapitre I. Le Pétrole.

§^{er} I - Historique.⁽¹⁾

Le naphthé ou pétrole a été découvert de toute antiquité parce qu'il se rencontre à l'état de sources de lacs, dans les pays d'Orient qui ont été le berceau du monde.

On connaît les dépôts gazeux qui, depuis plus de 25 siècles, constituaient les fameuses étincelles adorées par les Persans dans la péninsule d'Arachéon, qui est aujourd'hui le centre de la production du pétrole Russe. Les sources de bitume d'Égypte sont célèbres moins par leur importance que par l'usage qu'en ont fait les Égyptiens pour embaumer les cadavres. Enfin Pline rapporte que les huiles de Sicile furent employées pour l'éclairage à Agrigente.

Mais, c'est au commencement du 19^e siècle que l'industrie du pétrole prend réellement naissance et se développe avec une très grande rapidité. En présence de l'extension prise par l'industrie de huiles minérales retirées des schistes bitumineux et des Boghead d'Écosse, l'attention des savants et des industriels est attirée sur les huiles qui se trouvent formées tout naturellement dans le sol et qui sont manifestement douées des mêmes propriétés générales. Les Anglais organisent alors une exploitation régulière des huiles de Rangoon en Birmanie, huiles que l'on connaissait depuis

(1) A. Reiche et G. Halphen. — Le Pétrole (Encyclopédie Industrielle. T. 13. Baillière).
Kautzinger et Nothhat. — Le Pétrole. (Extr. Fritsch).

longtemps; en 1847, ils importent déjà par an plus de 100.000 litres de pétrole qui, distillés en Angleterre, sont exportés sur le continent.

En 1857, on vend en Galicie et même à Piene du pétrole pour l'éclairage, provenant des gisements de Galicie; des essais plus limités sont exécutés en Alsace à Lechelbronn; à Egersee, à Alheim en Allemagne.

Tout à coup en 1858, on apprend qu'un Américain nommé Drake qui forait un puits d'eau salée en Pennsylvanie, à Titusville, avait failli être englouti avec ses ouvriers par un jet de liquide huileux dont la source intarissable continuait à fournir plusieurs milliers de litres par jour; et que ce liquide, après une purification très simple, brûlait avec une lumière éclatante. Le pétrole américain est découvert. Les chercheurs d'or du Sacramento se précipitent dans la vallée de l'Alleghany, en Pennsylvanie, et, quelques années après, la Pennsylvanie et les districts voisins sont criblés de trous de sonde dont un grand nombre ont un débit extraordinaire d'huiles et de gaz combustibles. De la Pennsylvanie, les puits à pétrole ne tardent pas à s'étendre dans les Etats de l'Ohio, de la Virginie de l'Ouest, de la Californie et du Colorado.

Pendant que de nombreux efforts sont tentés en Amérique, l'industrie du pétrole se développe en Russie et passe par diverses phases.

De 1801 à 1872, l'Etat accorde à des particuliers le monopole de l'exploitation par des concessions à durées limitées d'environ quatre années. A partir de cette époque, le monopole est aboli et les terres appartenant au gouvernement sont vendues en 1874 aux particuliers en même temps qu'il en alloue une grande partie, comme récompense, aux généraux de l'armée russe qui ont participé à la conquête du Caucase. C'est à cette époque que

l'impôt fourni par les fermages est supprimé et remplacé par un droit fixe par alambic en fonctionnement et par jour. Enfin, le 1^{er} Septembre 1877, le droit sur les alambics est supprimé et l'industrie du pétrole est non-seulement délivrée de toute tutelle administrative, mais se trouve protégée par un droit de douane de 8,90 par 100 kgs. A partir de cette époque, la production du pétrole croît d'une façon étonnante et en 1880, le gouvernement russe, prenant en considération cette extension industrielle, ordonna la création d'une ligne de chemin de fer de Tiflis à Bakou, ligne qui, continuant la ligne de Poti-Tiflis, met en relation la mer Noire et la mer Caspienne.

§^e II - Gisements.

Le pétrole, ou huile de pierre est un produit très répandu; on le trouve, en quantités fort différentes, dans les diverses régions du globe terrestre, où il se présente avec des aspects variables. ⁽¹⁾ Tantôt

(1) Il existe deux hypothèses principales sur l'origine et la formation des pétroles :

1^e Hypothèse Neptunienne. - Le pétrole résulte de la distillation, sous pression, d'huiles provenant de graisses animales fournies par les millions d'êtres qui vivaient dans les mers dévonniennes et siluriennes. A l'appui de cette hypothèse, M^e Engler de Carlsruhe en distillant sous une forte pression plusieurs quintaux d'huile de poisson, a obtenu une grande quantité de pétrole absolument identique comme composition au pétrole d'Amérique; les produits de la distillation de ce pétrole sont identiques à ceux qu'on obtient actuellement dans l'industrie.

2^e Hypothèse Plutonienne. - Daubrée, Mendelejeff, M^e Berthelot, croient au contraire à la possibilité de la production originale du pétrole par l'unique action chimique; les expériences récentes de M^e Moissan sur la formation des carbures métalliques, viennent de donner des fondements à cette hypothèse de l'origine chimique des pétroles.

On sait qu'en chauffant au four électrique des oxydes métalliques ou des métaux en présence du

il constitue un liquide volatil à la température ordinaire et, dans ce cas, on le désigne sous le nom de Naphthe; d'autres fois, on le rencontre sous forme d'un liquide peu volatil qui est le Pétrole proprement dit; enfin il prend soit un aspect semi-solide (bitume malthé) soit une consistance solide (asphalte).

Dotées d'une odeur particulière, variable d'une région à l'autre, les huiles de pétrole sont ou très fortes ou à peine colorées; elles possèdent généralement un dichroïsme plus ou moins accentué. Plus légères que l'eau, leur densité varie dans d'assez larges limites. Formé dans les entrailles de la terre ⁽¹⁾, le pétrole tend à

(Suite du
numéro précédent) carbone, on obtient des combinaisons binaires du carbone avec les métaux, des carbures métalliques. Certains de ces carbures, les carbures de lithium, de calcium, de baryum, de strontium, décomposent l'eau à froid en dégageant du gaz acétylène pur.

Le carbure d'aluminium décomposé par l'eau, donne du méthane CH_4 pur. Les carbures de cérium, de lanthane, d'yttrium, de thorium, décomposent également l'eau à la température ordinaire, en donnant non plus un gaz unique, mais bien un mélange gazeux, riche en acétylène et contenant du méthane; de même, le carbure de manganèse se décompose au contact de l'eau froide et fournit un mélange à volumes égaux de méthane et d'hydrogène; enfin le carbure d'uranium donne avec l'eau non seulement un mélange de méthane, d'hydrogène et d'éthylène, mais encore en abondance des carbures d'hydrogène liquides et solides que les carbures de cérium et de lanthane donnent également, mais en plus petite quantité. ⁽²⁾ Ce ⁽³⁾ Coiban indique qu'en partant de 4 Kgr. de carbure d'uranium, il a obtenu, en une seule expérience, plus de 100 grammes de carbures liquides.

Et ces carbures métalliques dont nous venons de parler existent probablement dans la masse profonde du globe terrestre; une cause quelconque, un mouvement du sol, peut les amener au contact de l'eau et produire les réactions que nous avons développées. Telle est l'hypothèse plutonienne?

(1) Les gisements de pétrole se trouvent en général au voisinage de grandes chaînes de montagnes; ils sont situés parallèlement aux crêtes principales comme par exemple en Russie, le long du Caucase et en Turquie, le long des Alleghany.

remonter à la surface du sol soit sous l'influence de la pression exercée par ses propres gaz ou vapeurs, soit sous l'action mécanique de l'eau qui l'accompagne presque invariablement. Lorsque sous ces efforts, il arrive à pénétrer les couches superficielles, il abandonne, par évaporation, ses principes les plus volatils, et laisse comme résidu des gisements de brai, de bitume et d'asphalte.

Ce n'est que très rarement que le pétrole liquide manifeste sa présence sous forme de sources jaillissantes ou coulant à la surface du sol; pour l'extraire, on est habituellement obligé de forer des puits dans le sol, jusqu'à ce qu'on ait atteint la couche pétrolifère. Il arrive quelquefois, notamment au Caucase, qu'il s'échappe des trous de sonde des jets de pétrole qui peuvent s'élever jusqu'à 80 mètres au-dessus de l'orifice du puits. Mais très souvent, on est obligé, pour amener l'huile à la hauteur du sol, de faire usage de pompes.

Gisements des Etats-Unis. La Pennsylvanie⁽¹⁾ qui est la région des Etats-Unis où a été découverte le premier puits industriel à pétrole en 1859 (vallée d'Oil- Creek où le pétrole a été découvert) est restée pendant longtemps à la

(1) Les principaux bassins de la Pennsylvanie et de l'Etat de New-York sont:

1^o - le bassin de Bradford, qui, en 1889, a fourni 7.158.363 barils sur la production totale qui était de 35.164.000 barils - et qui, en 1891, a fourni 5.452.418 barils sur la production totale qui était de 54.293.000 barils. Les puits ont 450 à 500^m de profondeur. Dans cette région, fournisseurs des huiles relativement lourdes, de densités voisines de 0,815;

2^o - le Middle Country, à 20 milles de Bradford, vers l'Ouest, avec des gisements encore très importants de Warren, Clarendon, Stroncham, Ciona; en général l'huile de cette région est ambree, de 0,786 à 0,795 de densité;

3^o - le gisement de Larker, comprenant les districts de Elation, de Butler et d'Ormsburg; Larker se trouve vers le centre de cette bande; comme il s'y est établi une bourse importante, centre

Ohio.
Californie.

tête de la production, mais se trouve dépassée depuis 1895 par l'Etat d'Ohio. La production d'autres états tels que la Californie tend à augmenter de jour en jour; au commencement de 1897, la ville de Los Angeles⁽¹⁾ compte 310 puits en exploitation d'un débit journalier de 2.200 barils de 145 kilogrammes environ ou de 189 litres environ. En 1899, le nombre de puits est de plus de 400, produisant 4000 barils par jour.

Dans le même Etat (Californie), les champs du Comté de Kern⁽²⁾ (Kern-River) contiennent des puits qui produisent chacun 300 à

(Suite ou renvoi de la page précédente) du marché de la région, on désigne souvent ces pétroles sous le nom de Larker Oil; cette huile est pauvre en essence mais riche en huile lampante (densité inférieure à 0,803). Il existe dans le territoire d'Armstrong, quelques puits de débit très faible, qui sont remarquables par ce fait que l'huile est à peine colorée et qu'elle n'a que 0,780 de densité à l'état naturel. C'est de l'huile brute que sa pureté et sa nature font ressembler à l'huile lampante marchande; on la consomme directement dans le pays sans traitement.

4^e Le territoire de Washington qui a donné des rendements prodigieux.

L'huile extraite (Puits de Washington et Taylorstown)	{	en 1887 représente 2.859.344 barils
		en 1888 — id. — 2.322.189 — id. —
		en 1889 — id. — 3.848.145 — id. —
		en 1891 — id. — 2.997.278 — id. —

C'est dans ce territoire que l'on a découvert en 1891 le plus puissant gisement que l'on connaisse, Mac-Donald, à une heure de chemin de fer de Pittsburg. Ce gisement a fourni, dans les trois derniers mois de 1891, environ 5 millions de barils, environ 27.700 par jour. L'huile est très légère (0,777 à 0,790).

(1) (Royaume de Belgique. Recueil Consulaire. E. 102. 1899).

Le nombre de calories dégagées par la combustion de 3,5 barils d'huile correspond au nombre de calories dégagées par la combustion d'une tonne de charbon. Le pétrole de Los Angeles est employé par les Cars Electriques par le Terminal and Southern California-Railway, par le Southern Pacific pour des locomotives.

(2) Recueil Consulaire du Royaume de Belgique. E. 111. - 1901.

400 barils par jour. Le pétrole qu'on en extrait est généralement très épais. Dans plusieurs puits, il renferme beaucoup de sable; on l'en sépare en le faisant arriver à la partie supérieure d'un long chenal; le sable se dépose immédiatement et on le jette hors du chenal. Ce sable pétrolifère peut, avec avantage, servir à l'amélioration des routes très poussiéreuses de ces contrées.

Texas.

Enfin on vient de découvrir au Texas un gisement considérable dont le centre est la ville de Beaumont située à 38^k,5 de Port-Arthur.⁽¹⁾ La première expédition de pétrole des gisements de Beaumont remonte seulement au 3 Mars 1901 et, de cette date au 10 Janvier 1902, les statistiques du chemin de fer indiquent qu'il a été expédié 10.301 wagons portant 1.633.202 barils d'huile. Deux ou trois grands navires ont aussi chargé du pétrole et on en a consommé un peu plus de 100.000 barils à Beaumont et dans les environs. On estime en outre qu'au commencement de Janvier dernier, il pouvait y en avoir 2.500.000 barils de logés dans des réservoirs à Beaumont et enfin, qu'il avait dû s'en perdre un million de barils avant que le débit des divers puits ait pu être capté et régularisé.

Au 1^{er} Janvier 1902, il y avait 138 puits en exploitation, 200 Kilomètres de pipe-lines, 69 réservoirs métalliques achevés, 19 en construction, et 32 réservoirs en bois de plus faible capacité, sans compter des voies de chargement pour 160 wagons.

La direction naturelle de l'exportation du pétrole du Texas est la route du golfe du Mexique, à l'Est vers l'Europe et au Sud vers les Etats Américains; la découverte de ces gisements peut donc avoir une grande influence sur le marché des pétroles.

Production.

(1) Recueil Consulaire du Royaume de Belgique. 6115. 1902.

Production du pétrole aux Etats-Unis. La production du pétrole aux Etats-Unis peut être résumée dans le tableau suivant. ⁽¹⁾

Années	Pensylvanie et New-York.	Ohio	Total y compris d'autres champs.	Années	Pensylvanie et New-York	Ohio	Total y compris d'autres champs
1860	500.000	"	500.000	1891	33.009.000	17.740.000	54.293.000
1870	5.251.000	"	5.251.000	1892	28.422.000	16.363.000	50.510.000
1875	8.788.000	"	12.163.000	1893	20.315.000	16.250.000	48.431.000
1880	26.028.000	39.000	26.286.000	1894	19.020.000	16.792.000	49.345.000
1885	20.776.000	662.000	21.859.000	1895	19.144.000	12.545.000	52.892.000
1886	25.798.000	1.783.000	28.064.000	1896	20.584.000	23.941.000	60.960.000
1887	22.356.000	5.023.000	28.283.000	1897	19.262.000	21.561.000	60.476.000
1888	16.480.000	10.010.000	27.612.000	1898	15.948.000	18.739.000	55.364.000
1889	21.489.000	12.470.000	35.164.000	1899	14.375.000	21.142.000	57.071.000
1890	28.458.000	16.125.000	45.824.000	1900	14.559.000	22.363.000	63.362.000

Total Général de la production du pétrole aux Etats-Unis depuis l'année 1860. (en barils de 145 kgr. environ)

{	Pensylvanie et New-York	601.386.000
	Ohio	241.089.000
	Total y compris d'autres champs.	1.006.876.000

Pipe-Lines.

Pour transporter d'aussi grandes quantités de pétrole, on emploie le système dit des Pipe-Lines.

Sous le nom de Pipe-Lines, on désigne un réseau souterrain de conduites en fer à travers lesquelles on fait circuler le pétrole pour l'expédier d'un point à un autre. Le mouvement du liquide dans

(1) N. Gulichambaroff - Le Pétrole en Amérique et en Russie.

(Bucarest - Conteur des Intérêts pétrolifères roumains. N° 56 et 57 - 5 et 20 Mars 1902. p. 601 à 651) - (Journal du Pétrole. Paris N° 10. 15 Mai 1902. p. 245).

ces tuyaux de 10 à 15 centimètres de diamètre est effectuée, soit grâce à l'inclinaison des terrains, soit par l'emploi de pompes spéciales. Les tuyaux prennent naissance aux réservoirs qui se trouvent à côté des puits d'extraction; ils aboutissent à une première station où le pétrole est reçu dans des réservoirs d'où une pompe le puise pour l'envoyer par une autre série de tuyaux à la seconde station et ainsi de suite; après avoir passé par les diverses stations échelonnées le long de son parcours, le pétrole arrive dans les réservoirs destinés à l'approvisionnement des raffineries ⁽¹⁾ du pays et de l'étranger.

(1) Le nombre des raffineries de pétrole aux Etats-Unis est comparativement petit et le capital qui y est engagé est assez faible. Voici quelques renseignements sur la situation de l'industrie du pétrole aux Etats-Unis.

	1880	1889	1899
Nombre de raffineries	86	94	67
Nombre moyen des employés et des ouvriers	9.869	11.403	12.199
Coût total en milliers de dollars (environ 5 ^{1/2}) des raffineries.	27.326	77.416	95.328
Coût des matières brutes (en milliers de dollars)	34.999	67.919	102.859
Coût des produits raffinés.	43.705	85.001	123.929

Exportation des principaux produits pendant les 5 dernières années.

	1897	1898	1899	1900	1901	
Pétrole brut	122	120	118	138	127	} en millions de gallons. (Le gallon vaut 4,5 litres)
Benzine et autres produits légers	13	17	18	19	22	
Kérosène	804	765	733	739	827	} id.
Huiles minérales	53	66	71	71	75	} id.
Résidus de pétrole	291	725	515	470	657	} en milliers de barils (Le baril vaut 189 litres environ)

Pour les produits américains, le marché le plus favorable est le marché anglais où en 30 ans (1870-1901) l'exportation a augmenté 27 fois, tandis qu'en Allemagne, elle a seulement quintuplé.

[Julichambaroff. loc. cit.]

Il arrive parfois qu'une conduite s'encrasse; dans ce cas, on engage dans le tuyau obstrué une brosse conique en fils d'acier, que l'on nomme go-devil ou passe-diable et qui, se trouvant entraînée par le courant de pétrole, dégage le tube.

Lorsque l'huile doit être ensuite transportée par wagons - citernes, on l'envoie aux ratières de chargement ou racks. Là, la ligne arrive parallèlement à la voie; elle est munie de tuyaux qui lui sont perpendiculaires et dont la distance de l'un à l'autre est juste celle d'un wagon. Ces tuyaux sont munis d'un robinet et d'un crode sur lequel vient se fixer un tuyau mobile en étain, que l'on relie au trou d'homme d'un wagon-citerne lorsque celui-ci est placé juste en face de lui. Grâce à cette disposition, on charge tous les wagons d'un train dans le même temps qu'il faudrait pour n'en charger qu'un seul.

On évalue à plus de 15.000 kilomètres la longueur totale des pipe-lines américains. Ils appartiennent presque en totalité à l'American Standard Oil Company.

Gisements du Lézou. En Amérique, après les Etats-Unis vient comme importance de gisements pétrolifères, le Lézou, dont la production est en marche ascendante depuis la découverte des gisements. On évaluait, en 1890, à près de 1500 kilomètres carrés la surface de la zone pétrolifère. Les puits doivent être descendus à 240 mètres. Sur 49 puits forés depuis 1892, 44 sont productifs et quelques-uns donnent jusqu'à 135.000 litres par jour. Le pétrole brut est employé pour le chauffage des locomotives de toutes les lignes péruviennes; il est également utilisé dans les manufactures et les usines à gaz.

Gisements d'Europe. En Europe, les centres de production de pétrole sont: la Galicie, la Roumanie et surtout le Caucase.

Gisements de la Roumanie: La Roumanie possède de nombreux et importants gisements

qui semblent le point de départ de cette zone qui, longeant les Alpes Transylvaniennes et les Carpathes, vient aboutir à Lemberg, en Galicie. On y distingue deux régions : la première s'étend de Bakau à Czegowitz dans la direction du Nord au Sud, tandis que la seconde se déploie à l'Est. Le pétrole est exploité à Bacoul, Romnicul, Sarat, Buzau, Lea-hova et Dombrovitza. Les gisements de Roumanie donnent d'abondantes éruptions gazeuses, mais ils ne fournissent que très rarement des fontaines jaillissantes.

Lendant l'année 1899-1900⁽¹⁾, la production totale du pétrole en Roumanie s'est élevée à 224.752 tonnes, c'est à dire 42.210 tonnes de plus que l'année précédente ; en 1895-1896, année de début, le produit était trois fois moindre. Le district de Lea-hova à lui seul, fournit les 84% de la production totale.

On voit en Roumanie les distilleries d'alcool, les raffineries de sucre, les compagnies de chemin de fer abandonner la houille pour employer exclusivement le pétrole brut.

Le premier développement systématique⁽²⁾ de l'industrie du pétrole en Galicie eut lieu dans le district de Bodika, village situé entre Krasno et Dubila. Ce fut là, qu'après une série d'efforts in fructueux, Lukasiewicz et Klobassa établirent en 1861 le premier puits important. Ce puits, d'une profondeur de 14 mètres, fournissait 6000 kgr. d'huile par heure. Le développement actif du champ d'huile de Kolomca commença en 1881 et, en 1883, ce district fournissait 550 barils de pétrole par jour sur une surface atteignant 1500 mètres de longueur sur 350 à 500 de largeur.

(1) Deutsche Kohlen - Zeitung - Berlin. 30 Juin 1901. - Recueil Consulaire du Royaume de Belgique. - T. 111. - 1901.

(2) A. Riche et G. Halphen. - Le pétrole. p. 29 et Moniteur Scientifique Queneville. 1893, p. 147 du Mercure Scientifique.

La richesse de ce pays, en orokéite (craie minérale) fait que l'exploitation de ce produit y est plus considérable que celle du pétrole. C'est surtout à Boryslaw que se trouvent les gisements les plus connus; ils se développent parallèlement à la ligne des Carpathes.

Gisements

du Caucase.

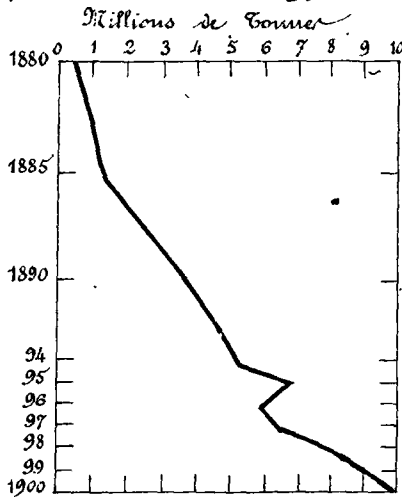
Toutes les principales sources de Naphte de l'Europe se trouvent dans la presqu'île d'Apchéron⁽¹⁾, formée des derniers contreforts orientaux du Caucase, qui s'avance de 100 km. dans la Caspienne et dont la superficie dépasse 3000 km. carrés. Les gisements qui sont actuellement les plus activement exploités sont ceux de Sourakhan et de Balakhang situés à 13 km. du port de Bakou. Le plateau d'où l'on extrait le naphte a une altitude de 52 m. par rapport au niveau de la mer Caspienne, ce qui permet de profiter de la gravité pour amener aux raffineries l'huile sortant des puits.

En certains points de ces plateaux, l'huile sort naturellement du sol; pour l'obtenir assez abondamment, il suffit de creuser des puits d'une trentaine de mètres et il semble établi que la production d'un puits augmente en même temps que sa profondeur. Pour répondre à l'accroissement de la production, on a dû forer de plus en plus profondément. Alors qu'elle était seulement de 47^m en 1893, la profondeur moyenne des puits a atteint 230^m en 1895; certains de ces puits ont même été creusés jusqu'à 400 m. de profondeur.

(1) Des sources de naphte se rencontrent sur les 2 versants du Caucase depuis les péninsules de Kertch et de Taman, séparant la mer d'Azov de la mer Noire, jusque dans l'île Scheleken, qui est située près de la côte orientale de la Caspienne, dans le prolongement de la chaîne principale du Caucase. Toute la région qui se trouve comprise entre la Caspienne et la presqu'île Kradnovodsk est tellement riche en pétrole que les Russes l'ont surnommée Californie Noire. A partir de l'île de Scheleken (île de naphte), au sud de la presqu'île de Kradnovodsk, la couche oléifère traversant la Caspienne va rejoindre, sur la rive occidentale, la ligne du Caucase, à la péninsule d'Apchéron.

Avec fréquemment, le naphte jaillit pendant plusieurs mois des puits obtenus par le sondage. On comptait en 1895 près de 1000 puits dans la région de Bakou, sur lesquels il y avait environ 30% de fontaines jaillissantes, d'une profondeur d'environ 350 mètres. Le puits Orsojba et Nobel N°9 mérite, à ce point de vue, une mention toute particulière. Au moment du sondage, le jet d'huile s'éleva jusqu'à 90 m. de hauteur; en peu de temps, le sable qu'il entraînait usa et mit en pièces la charpente de fort équilibrage établi au dessus du forage; ce sable forma d'immenses bancs d'une centaine de mètres de longueur, qui recouvrirent les constructions des puits voisins. On estime à plus de 100 millions le nombre de litres qui furent perdus avant qu'il ait été possible de capter le puits dont la production journalière fut estimée avoir atteint 8000 tonnes.

Le naphte du Caucase se rencontre à l'état naturel soit sous forme d'un liquide brun, visqueux, soit sous forme d'un liquide blanc qu'on ne trouve d'ailleurs qu'en petites quantités; sa densité est comprise entre 0,783 (naphte blanc de Sourakhan) et 0,890 (naphte de Balakhany).



Production du Naphte dans la région de Bakou.

Le rendement des fontaines et des puits du Caucase, dans la région de Bakou, a crû, pendant ces dernières années, beaucoup plus vite que la production des États-Unis. Le total obtenu en 1880, 350.000 tonnes, avait déjà décuplé en 1889; il est monté successivement à plus de 5.000.000 de tonnes en 1894, 6.900.000 en 1895, 8.000.000 en 1898, pour s'élever finalement en 1900 à près de 10.000.000 de tonnes.

Or, dans cette même année 1900, la production totale des Etats-Unis n'a pas été supérieure à 9.100.000 tonnes. Le graphique de la page précédente indique cette progression croissante.⁽¹⁾

§ 3 — Chimie du Pétrole.

Le pétrole tel qu'il sort de terre est un corps excessivement complexe; il est un mélange de substances diverses très nombreuses appartenant toutes à la famille des carbures d'hydrogène.⁽²⁾ Ce sont:

(1) Ces renseignements sont empruntés aux ouvrages suivants:

Recueil Consulaire du Royaume de Belgique - T. 98. - 1898.

M. Perstracke - La Russie Industrielle. - Paris. Hachette - 1897.

J. Machat. - Le développement économique de la Russie. - Paris. - A. Colin. - 1902.

(2) C'est à Lelouze et Cahours (Comptes-rendus de l'Académie des Sciences. 6. 54 - p. 1241; 6. 56 - p. 505; 6. 57 - p. 62), qu'est dû le premier travail de longue haleine relatif à l'étude des espèces chimiques qui constituent le pétrole.

Cette étude est faite avec le plus grand soin dans l'ouvrage de M. H. A. Riche et G. Halphen: Le Pétrole p. 111 à 153.

On trouve également dans le même ouvrage tous les détails relatifs à la distillation des pétroles (p. 154 à 277).

Nous laissons de côté toute cette partie de la préparation des dérivés du pétrole et nous allons simplement résumer les renseignements relatifs à la composition chimique des divers pétroles.

D'après Lelouze et Cahours, les pétroles d'Amérique sont presque exclusivement formés par des hydrocarbures de la série C^xH^{2x+2} depuis CH_4 jusqu'à $C^{16}H^{34}$. Schorlemmer a ainsi complété ces résultats:

			Densité	Point d'ébullition
Pétroles d'Amérique.	Pentane normal ———	} C^5H^{12}	—	37° à 39°
			Diméthylpropane ———	— 0,626
	Hexane normal ———	} C^6H^{14}	— 0,633 à 17°	— 71°,5
	Heptane normal ———		— 0,712 à 16°	— 98°
		} C^7H^{16}	— 0,711 à 0°	— 86°,5
			Diméthyl-diéthyl-méthane ———	— 0,703 à 17°
	Octane normal. ———	C^8H^{18}		

D'après Schützenberger et Jonine, la majeure partie des pétroles du Caucase est formée par des

les carbures $C^n H^{2n+2}$ dits carbures saturés,
— id. — $C^n H^{2n}$ — id. — éthyléniques,
— id. — $C^n H^{2n-2}$ — id. — acétyléniques,
— id. — $C^n H^{2n-6}$ — id. — aromatiques.

Quand $n = 1$ ou 2 , les substances qui appartiennent à ces séries sont gazeuses à la température ordinaire; quand $n = 3$, la substance est liquide; quand n augmente, la substance devient solide.

Toutes ces substances différentes sont contenues dans le pétrole brut où elles se dissolvent les unes dans les autres; les plus liquides servant de véhicules, aux plus solides. à la distillation, on retire d'une cornue unique une multitude de matières diverses, ayant chacune des propriétés nettement définies, des usages tout spéciaux.

Le tableau de la page suivante donne les produits qu'on retire de la distillation du pétrole dans l'industrie.

(suite du cours de la page précédente) Carbures $C^n H^{2n}$ isomères avec les carbures éthyléniques mais dont les propriétés se rapprochent des carbures saturés $C^n H^{2n+2}$. Parmi ces carbures, auxquels on a donné quelquefois le nom de Naphtènes, citons :

		Densité	Point d'ébullition
l'hexahydrobenzine	$C^6 H^{12}$	0,760	69°
l'hexahydrotoluène	$C^7 H^{14}$	0,772	97°
l'hexahydro-isoxylène	$C^8 H^{16}$	0,771	187°

Markownikof et Ogloine ont montré que la composition des fractions du pétrole du Caucase bouillants entre 150° et 300°, sous la pression ordinaire et aussi celle des fractions passant de 210° à 330° sous la pression de 20^{mm} sont très voisines de $C^{2n} H^{2n}$ après qu'on a éliminé les produits oxygénés. Dans la partie bouillante à 180° ou 200°, on a trouvé, outre une petite quantité de l'hydrocarbure $C^{11} H^{16}$, les hydrocarbures de la série $C^n H^{2n}$ et, comme produit principal, les cynènes isomériques, la métaméthylpropylbenzine et la tétraméthylbenzine. La fraction bouillante à 240° et 250° contient l'une des propylnaphtalines isomériques $C^{22} H^{14}$, les hydrocarbures $C^{11} H^{14}$ (série styrène) et $C^{15} H^{20}$. Au rouge vif, les carbures $C^n H^{2n}$ contenus dans le pétrole du Caucase se transforment en carbures benzéniques.

Raffinage du Pétrole brut.

Produits obtenus	Densités	Points d'ébullition.	Observations.
<p>de 0° à 30°</p> <p>Naphthes bruts ou Essences de pétrole. représentant 5 à 20% du pétrole brut. (On appelle encore ces produits: Huiles légères volatiles ou Benzines ou Essences brutes tout venant.)</p>	0,600 à 0,650	0°	<p>Gazous à la température ordinaire, inflammables par le refroidissement et la pression. Très inflammables. Utilisés pour la fabrication de la glace.</p> <p>Emploies dans un mélange de glace et de sel marin. Très inflammables. Employés en médecine comme anesthésique.</p>
	0,650 à 0,660	18° à 3	
<p>de 60° à 90°</p> <p>Lar le raffinage on obtient aux températures:</p>	0,650 à 0,660	40° à 60°	<p>Servent à carburer l'air pour la fabrication de gaz de pétrole. Utilisés comme déboucheurs de canalisations et des huiles grasses.</p> <p>Inflammables à une température inférieure à 0°.</p> <p>Mélange très complexe qui on obtient par la rectification des essences dans isoler les produits très légers et très volatils qui précèdent.</p> <p>Utilisés pour: Combustion du gaz. — Chauffage dans la fournaise de cuisine. — Chauffage de la petite industrie pour fondre, souder, etc. — Chauffage des rues dans les pays où il n'y a pas de gaz. — Distillation des résines, essences, dans la fabrication des vernis et des toiles cirées. — Extraction des huiles de graines.</p>
	0,655 à 0,690	50° à 90°	
<p>de 96° à 146°</p> <p>Densité du Naphthe brut: américain — 0,700 russe — 0,750. Ces Naphthes sont traités par l'acide sulfurique à 66° et par la soude caustique; le produit est alors rectifié</p>	0,680 à 0,736	80° à 110°	<p>Stèmes usages que les gazolines.</p> <p>Inflammables à une température comprise entre 0° et 5°.</p>
	0,710 à 0,730	80° à 120°	
	0,720 à 0,745	120° à 150°	<p>Employés comme dissolvant en pharmacie, comme combustible dans les lampes à siphon.</p> <p>Employés pour dégraisser, détacher, nettoyer les caractères d'imprimerie; pour remplacer l'essence de feutre dans les vernis, etc....</p>

Nota - C'est l'ensemble de tout ou partie de ces produits qui constitue l'Essence commerciale ou Essence rectifiée, désignée dans l'industrie automobile sous les noms de Moto, Képlé, Stelline, etc.

<p>De 150° à 270°</p> <p>Kétosènes ou Huiles lampantes Rendement: 7 à 45% du volume primitif.</p>	<p>Par évaporation et lavage à l'acide sulfurique à 66° et au carbonate de soude on obtient un produit clair, limpide, incolore ou légèrement teinté en jaune.</p>	<p>Huiles lampantes ou Petites lampantes ou Kétosènes.</p>	<p>American: 0,790 à 0,810 Russe: 0,805 à 0,850</p>	<p>Inflammables de 43° à 65° Utilisées pour l'éclairage</p>
<p>Résidus 10 à 20% du volume primitif. Par distillation, on retire:</p>	<p>Huiles lourdes Huiles lubrifiantes</p>	<p>Huiles lourdes Huiles lubrifiantes</p>	<p>0,700 à 0,900 0,865 à 0,920</p>	<p>Inflammables de 270° à 330°.</p>
<p>Résidus 10 à 20% du volume primitif. Par distillation, on retire:</p>	<p>Laraffines</p>	<p>Laraffines</p>	<p>0,869 à 0,943</p>	<p>En ce qui concerne trois sortes: Laraffines fondant à 51°, 53°, 56°/2 Les plus molles sont d'un blanc délavé, opaques, les plus dures sont d'un blanc blanchâtre-translucide. Utilisés pour l'éclairage, la préparation des tinsus imperméables, la flatine, la fabrication des cires, etc... Elle servent à enduire le bois, le liège, le métaux, en vue de les protéger de l'humidité, de l'action des acides, à fabriquer des allumettes de paille, des vernis hydrofuges, à préparer de la médecine artificielle, à empêcher le linge, à préparer les enveloppes des cartouches de dynamite et des poudres de mine et de guerre.</p>
<p>Résidus</p>	<p>Paraffines. Goudrons Cokés.</p>	<p>0,860</p>	<p>Fond à 40°. L'odour neutre, insoluble à l'eau, se vaporise sans résidu de vapeurs à ces et sans laisser de résidu. Employé en pharmacie; pour le graissage; pour la conservation des peaux; pour empêcher la moisissure dans les sucres, distilleries, etc....</p>	

Il y a de profondes différences dans les proportions d'essences, d'huiles lampantes et d'huiles lourdes fournies non-seulement par les huiles des différents pays, mais aussi par celles que l'on trouve dans les divers contrées d'un même pays. A ce point de vue, le tableau suivant que nous empruntons à un travail de deux chimistes roumains M. M. *Sticati et Salignij*⁽¹⁾, présente un grand intérêt.

Provenances du Pétrole brut	Densités	Produits de la distillation (sur 100 volumes)					
		Naphte brut	Huiles lampantes	Huiles lourdes	Paraffines	Goudrons	Cokes et poëles.
Bakou	0,865	8,50	40,70	18,30	5,00	15,00	12,50
Pensylvanie	0,824	15,00	47,00	20,00	—	12,00	6,00
Canada	0,845	20,00	50,00	19,00	3,00	5,00	2,00
Rangoon (Indes Orientales)	0,885	4,01	40,70	36,99	6,07	4,61	7,62
Mer Rouge (Afrique)	0,912	2,50	30,00	57,00	5,20	3,70	1,60
Siary (Galicie Occidentale)	0,827	8,50	44,85	24,22	—	13,25	9,18
Boryslaw (Galicie Orientale)	0,842	9,38	52,49	12,57	11,40	2,48	11,10
Bukovine	0,840	10,00	25,70	18,30	12,40	23,60	10,00
Roumanie	0,846	10,00	61,28	20,60	2,23	—	5,89

Ce tableau nous montre, que les pétroles américains sont en général plus riches en produits légers et en huiles lampantes que les pétroles russes; par contre, ceux-ci sont d'un meilleur rendement en huiles lourdes.

Dans les usines Nobel, au Caucase, après avoir extrait la benzine (densité 0,715 et 0,750) et les huiles lampantes (densité 0,750 à 0,860), on met à part un produit dont la densité varie de 0,860 à 0,890 et qu'on appelle *Huile Solaire*, auquel on donne le nom d'*Huile Solaire* ou *pétrole de sûreté* qui ne

⁽¹⁾ Recueil Consulaire du Royaume de Belgique -- E. 113. -- 1901.

s'enflamme qu'à 100°. A la suite de l'huile solaire, on recueille les huiles de graissage dont la densité varie de 0,890 à 0,930. Ces huiles sont de diverses sortes parmi lesquelles il convient de citer :

l'huile pour métiers et filature — densité = 0,890 ;

l'huile pour machines à vapeur — densité = 0,905 ;

l'huile pour cylindres à vapeur — densité = 0,915.

Mazout.

à Bakou, on appelle Mazout⁽¹⁾ le résidu de la distillation des chaudières à Naphte lorsqu'on a séparé les essences et les huiles lampantes. On admet que 100 tonnes d'huile brute donnent environ

(1) Le Mazout est un liquide noir à reflets violacés; en couche mince, il a une couleur mordorée. Il est encore liquide à -10°; au-dessus de cette température, il s'épaissit; mais même à -30° cent. il ne prend que la consistance du savon vert. Il émet vers 135° des vapeurs inflammables; il est très visqueux à la température ordinaire; au-dessus de 50° centig. sa viscosité diminue. 100 tonnes de mazout donnent par redistillation :

15 % huile solaire brute,	2 % huiles de cylindres brute,
5 % huile de broches brute,	48 % goudron,
25 % huile de machines brute,	5 % déchets

L'astaki, comme le mazout, est une huile lourde, peu inflammable; il est inodore, ne s'avarie pas en restant enmagasinée dans les réservoirs exposés à l'air et ne détériore pas les récipients qui la contiennent. Sa densité est de 0,928 à 0°.

Nous donnons ici les résultats d'essais faits en Angleterre sur divers combustibles liquides.

	Huile lourde Russe.	Mazout Russe.	Huile brute de Bornéo.	Huile brute du Texas.
Composition chimique %	C ———	86,6	87,1	87,9
	H ———	12,3	11,7	10,78
	O ———	1,1	1,2	1,24
Pouvoir calorifique (calories) —	10.800	10.700	10.430	10.581
Poids spécifique ———	0,938	0,908	0,963	0,910

60 tonnes de mazout.

Pendant longtemps, le mazout n'eut d'autre emploi que le chauffage des alambics des distilleries locales; son abondance en faisait un embarras que l'on supprimait en mettant le feu aux bacs qu'il formait ou en le déversant dans la mer Caspienne. L'immense développement pris par l'extraction du naphte dans ces dernières années a fait rechercher l'utilisation de ce résidu. Il a été alors reconnu qu'il constitue un excellent combustible pour les chaudières et qu'il peut servir tel quel comme lubrifiant. Mélangé à l'huile de colza, il constitue un lubrifiant qui est actuellement employé par nos compagnies de chemin de fer.

L'essence de pétrole.

Le produit de la distillation du pétrole qui est son emploi en automobilisme. employé dans les moteurs d'automobiles est uniquement l'Essence de pétrole⁽¹⁾ qui se vend dans le commerce sous les noms de Moto-Naphta, Stelline, etc... (Voir le tableau du Raffinage du pétrole brut). Une bonne essence se reconnaît à l'œil, au nez, au toucher et au densimètre.

À l'œil, elle doit être claire et transparente comme du cristal;
au nez, elle doit avoir une odeur plutôt douce que forte;
au toucher, quelques gouttes dans le creux de la main doivent s'évaporer rapidement sans laisser aucune trace de résidu odorant;
au densimètre et à 15° cent., elle doit marquer 695 à 700 au maximum. Comme il est rare que la température soit justement 15° cent., voici le petit calcul qu'il convient de faire pour connaître la densité à 15°, d'une essence de température quelconque:

Ajouter à la densité que l'on trouve au densimètre autant

(1) Les Allemands désignent les moteurs à essence sous le nom de Benzinmotoren, par opposition au Petroleummotoren ou moteurs à pétrole lampants.

de fois 0,8 que la température présente de degrés au-dessus de 15° et retrancher, au contraire, quand la température est inférieure à 15° .⁽¹⁾

Si les moteurs d'automobiles ne consomment que de l'essence de pétrole, un grand nombre de moteurs à pétrole employés en agriculture consomment du pétrole lampant.

Mais laissons de côté cette application du pétrole, sur laquelle nous aurons peut-être à revenir dans la suite, pour insister sur un emploi plus récent et qui tend à s'étendre, celui de combustible.

§ 4 - Emploi du pétrole comme combustible.⁽²⁾

Emploi dans les foyers de chaudières fixes.

Les avantages qui résultent de l'emploi du combustible liquide dans les foyers de chaudières fixes sont nombreux :

1^o - Ce combustible ne laisse pas de cendres.

2^o - Son introduction dans le foyer s'effectue automatiquement avec une grande facilité.

3^o - La température peut être rendue plus facilement constante qu'avec la houille dont la combustion ne donne jamais une température constante par suite des changements d'épaisseur du combustible sur la grille et des rentrées d'air par le foyer.

(1) Dans son excellent ouvrage « Les Recettes du Chauffeur », M. L. Baudry de Saunier donne les renseignements suivants applicables au cas où l'on n'a pas de thermomètre à côté du densimètre.

« S'il gèle dur et que le tonneau d'essence soit en dehors de la maison du commerçant qui le livre, on peut prendre une essence pesant dans ces conditions environ 730. Si le tonneau est dans l'épicerie, vous pouvez admettre que la température de l'essence soit de 10° par exemple, au-dessus de zéro et acheter le liquide qui pèsera 715° environ. Inversement, en été, si le tonneau se trouvait dans une courte très chaude, vous ne devez admettre qu'une essence pesant au maximum (y) ou à peu près » (Les Recettes du Chauffeur. p. 123).

(2) F. Colomer & E. Lardier. - Combustibles industriels - Paris. Dunod. 1903. p. 189 à 215.

4^e - Avec le pétrole, on peut régler les proportions d'huile et d'air de manière à avoir une combustion complète sans excès d'air.

5^e - Le combustible liquide occupe moins de place que le charbon nécessaire pour produire le même effet.

6^e - L'emploi du pétrole permet une surveillance très facile; un homme suffit pour une batterie de 6, 8, 10 chaudières.

Ces diverses considérations contribuent beaucoup à développer l'emploi du pétrole et en particulier du mazout.

M. H. Le Chatelier a conclu de ses expériences que les quantités de vapeur produites dans la même chaudière et dans les mêmes conditions pratiques par les résidus de pétrole et par la houille sont proportionnelles aux puissances calorifiques de ces deux combustibles, c'est à dire que les poids de vapeur évaporée sont environ comme 1,5 et 1.

On aura ainsi recours avec avantage au chauffage au pétrole dans des stations centrales de production de lumière électrique pour parer à des augmentations subites de consommation, dues à des braillards ou à d'autres causes: il est en effet difficile, quand on dispose uniquement de chaudières chauffées à la houille, de produire instantanément une quantité de vapeur suffisante pendant la période de consommation maximum. Avec les chaudières chauffées au combustible liquide, on peut au contraire, forcer la production pendant une courte période sans la moindre difficulté.

Emploi sur les locomotives.

L'emploi du combustible liquide permet de réaliser de nombreuses et importantes économies pour le chauffage des locomotives.

1^e - La tâche difficile et fatigante du chauffeur est rendue beaucoup plus facile, grâce à l'alimentation continue et automatique des foyers, alimentation qui supprime les rentrées d'air par les portes

2° - L'allumage et la mise en pression sont rapides. Au dépôt, avec de l'eau froide et en empruntant de la vapeur à une locomotive voisine ou à une chaudière fixe pour faire fonctionner l'injecteur, il faut une demi-heure pour porter l'eau à 100° et une heure et demie en tout pour obtenir une pression de 12 kgr; avec de l'eau d'alimentation à 70°, on a atteint 9 kgr. de pression en moins d'une heure.

3° - La combustion est exempte de fumée; on évite la production de fumée en réduisant l'arrivée du pétrole, dès qu'on constate la présence d'un panache de fumée au-dessus de la cheminée.

4° - On peut faire varier facilement et rapidement la pression à la chaudière; on atteint une précision parfaite dans le réglage du feu. Étant donné l'alimentation continue et automatique, on peut donner des coups de collier, ou arrêter au contraire instantanément la production de la chaudière.

5° - Il y a absence de poussière ou de suie dans les tubes et dans la boîte à fumée; de même absence d'escarbilles et d'étincelles qui encrassent la grille et les tubes.

6° - Le foyer et la tubulure demandent moins d'entretien qu'avec la houille, ce qui tient à l'absence de soufre dans le pétrole.

7° - Étant donné le pouvoir calorifique considérable des résidus de naphte, 30 à 40% supérieur à celui des meilleures houilles, et la facilité que l'on a de pousser ou de diminuer le feu instantanément, on peut franchir des distances plus considérables qu'avec le chauffage à la houille, même si l'on emploie du Cardiff de premier choix.

8° - L'approvisionnement en combustible des machines est plus facile et plus rapide.

9° - D'après M. Spinnall, l'emploi du combustible liquide

dans les locomotives permet de ne pas serrer l'échappement.⁽¹⁾
Avec le pétrole, la section de l'échappement est de 30 à 40% plus considérable que dans le cas de la houille; l'emploi d'injecteurs permet d'introduire le pétrole dans le foyer ayant pour effet de produire un tirage forcé. Il existe, en effet, deux tuyères à vapeur, l'une pour l'injection du pétrole, l'autre pour l'injection de l'air. Quand on emploie le chauffage mixte à l'huile et à la houille, on peut arrêter l'injection de l'huile pendant les arrêts et entretenir la pression avec la houille seule.

Il convient toutefois de signaler quelques-uns des inconvénients du chauffage des locomotives par le pétrole.

1^o - Un quart d'heure après avoir éteint le feu, il faut envoyer de la vapeur vive dans le foyer au moyen de l'injecteur en ouvrant en même temps le capuchon de la cheminée et le souffleur⁽²⁾

(1) On sait en effet que, pour activer la combustion dans les locomotives, et augmenter par suite la production de vapeur, on réduit la section de la tuyère d'échappement, ou, comme on dit, on serre l'échappement; on augmente ainsi la vitesse du jet de vapeur qui entraîne les gaz du foyer. Or le serrage de l'échappement, s'il est parfois nécessaire, n'est pas sans présenter des inconvénients: en réduisant la section de passage ouverte à la vapeur, il augmente la contre-pression sur les pistons pendant l'échappement; avec un échappement très serré, cette contre-pression, qui ne devrait guère dépasser la pression atmosphérique, prend souvent une valeur double et même encore plus forte: le travail fourni par la vapeur s'en trouve réduit. Si on produit plus de vapeur, on l'utilise moins bien. En outre, un échappement très serré provoque des entraînements de combustible. Il y a donc intérêt à ne serrer l'échappement que le moins possible.

(2) Le souffleur active le tirage au moyen d'un jet de vapeur prise dans la chaudière et envoyé dans la cheminée. Lors des stationnements ou en marche, quand le régulateur est fermé le souffleur permet d'interrompre la fumée; en l'ouvrant avant de fermer le régulateur, on évite le retour de flamme et de fumée par la porte du foyer, retour qui peut être dangereux si la porte du foyer est ouverte en grand. Pour activer la production d'une locomotive, on ajoute quelquefois l'action du souffleur à celle de l'échappement. C'est une manœuvre fâcheuse parce qu'elle augmente la dépense de vapeur.

pour chasser les gaz détonants qui se forment après la fermeture de l'injecteur. En effet, les gouttes de pétrole, qui suintent, rencontrant des parois chaudes, se vaporisent et donnent des gaz inflammables qui pourraient faire explosion au moment du rallumage.

2^e - Lendant le chargement du réservoir ou tender, il ne faut pas en approcher avec des lumières.

3^e - On ne doit pénétrer avec une lumière dans les réservoirs à pétrole pour les nettoyer ou les réparer, qu'après les avoir lavés et purgés de gaz combustibles.

4^e - On ne doit tolérer aucune fuite aux réservoirs ni à la tuyauterie de pétrole.

5^e - Il faut éviter l'emploi de la contée-vapeur, quand on chauffe au pétrole. En effet, quand on bat contée-vapeur, la pression monte dans la chaudière, la combustion n'est plus régulière et il se produit des explosions partielles; des gaz s'écoulent dans la boîte à fumée sans être brûlés et sont aspirés dans les cylindres où ils peuvent faire explosion en provoquant leur destruction.

Emploi sur les Chemins
de fer Russes.

Le gouvernement Russe, désireux de favoriser une industrie nationale, a beaucoup encouragé l'application du pétrole au chauffage des locomotives, particulièrement en soumettant depuis quelques années les houilles anglaises à des droits d'entrée prohibitifs.

Les chemins de fer Russes, surtout ceux du Sud-Est, région dans laquelle l'approvisionnement est facile, emploient comme combustible le mazout et l'astaki.⁽¹⁾

D'après M.^s Brückmann, le chauffage au pétrole, en Russie, présente l'avantage de frais moins élevés que le chauffage à la

Gulichambaroff - Le chauffage au pétrole (Bucarest 1900).

Alexich - Le chauffage des Locomotives au bois, au charbon et au pétrole.

houille russe; l'économie varie de 25 à 45%, suivant la distance qui sépare le point de consommation du gisement du pétrole.

Application sur les Chemins de fer Anglais & Français.

Dans l'état actuel des marchés français et anglais, l'emploi courant du combustible liquide ne se présente pas dans des conditions pratiques ni avantageuses. Toutefois, appliqué dans certaines limites et à certaines catégories de machines, il permet, grâce à sa combustion rapide et à la vaporisation abondante qui en résulte, de parer à diverses difficultés de la marche, notamment de franchir les longues rampes sans épuiser la réserve de vapeur, d'alimenter dans les moments où l'on hésite à le faire, en raison de l'état du feu et de la pression, de vaincre un surcroît momentané de résistance auquel un vent violent peut donner lieu.

En outre, étant donné la grande élasticité que ce mode de chauffage confère aux générateurs de vapeur, des applications utiles pourraient en être faites aux chaudières de machines fixes à fonctionnement intermittent, telles que les machines d'alimentation des réservoirs des gares de chemin de fer pour lesquelles le temps et la dépense d'allumage et de mise en pression sont hors de proportion

(1) En France, le mazout de Russie revient à 185^f la tonne qui se décompose, à peu près comme suit:

	La tonne:
Valeur du produit à Bakou	3 francs
Transport de Bakou à Batoum par wagon-citerne	25 - id.
Manutention à Batoum	1 - id.
Fret de Batoum en France par bateau-citerne	22 - id.
Droit de Douane	90 - id.
Logement	25 - id.
Déchargement, mise en fûts, pertes en cours de route, change, courtage, frais divers, bénéfice, etc....	19 - id.
	<u>185 francs.</u>

avec les éléments correspondants du travail effectif. On pourrait également se servir du pétrole pour l'allumage des locomotives, car il semble devoir permettre une mise en pression plus active que le procédé actuel. On peut encore concevoir que le pétrole serait utilement appliqué aux locomotives de manœuvre, catégories de machines dont le travail est généralement intermittent et pour lesquelles il est utile de pouvoir faire monter ou laisser tomber la pression suivant le service à faire.

Emploi en Californie. Nous avons vu plus haut que les locomotives de cette région sont maintenant chauffées au pétrole.

La Santa-Fé Railroad possède plus de 200 machines chauffées aux rendus de pétrole; le Southern Pacific Railroad possède 95 machines munies de brûleurs. L'International and Great Northern Railroad, le Los Angeles and Salt Lake Railroad, le Northern Pacific Railroad, se sont engagés dans la même voie, de même que les chemins de fer du Pérou et de la République Argentine, dans l'Amérique du Sud.

On se contente d'ajouter aux locomotives un brûleur et de garnir de briques réfractaires la base du foyer et une ou plusieurs parties de la boîte à feu, suivant la disposition des brûleurs.

Le réservoir à pétrole est placé au centre du tender et entouré par des caisses à eau; on le munit, à la partie supérieure, d'une soupape de sûreté destinée à neutraliser une trop forte pression des gaz.

Sur le Southern Pacific, avec l'huile à 16° Baumé, on a obtenu les résultats suivants:

	<u>Pétrole</u>	<u>Huile</u>
Kilomètres parcourus	360	360
pression	9 ^k ,3	9 ^k ,1
eau vaporisée	29.977 litres	27.149 litres
huile brûlée	343 ^l	"

	<u>Pétrole</u>	<u>houille</u>
Kilomètres parcourus par tonne	119	90
Kilogrammes de combustible consommés	2740	3648

Sur l'International and Great Northern Railroad, on a mis en essai 2 locomotives à 10 roues accouplées, de 83 tonnes, sur une ligne de 246 km. de longueur; les parcours ont été, pour chaque machine de 5348 km.

	<u>Charbon</u>	<u>Pétrole</u>
Combustible brûlé	182	101
Vrix du combustible	14,10 ^f	19,80
Vrix du combustible par km.	0,42 ^f	0,37 ^f
Kilomètres parcourus par tonne	29	53

L'économie due à l'emploi du pétrole a été de 0,05 par kilomètre, soit 22%, y compris les frais d'entrepôt et de manutention du pétrole.

Application
aux tunnels.

La ventilation des longs tunnels étant toujours difficile, l'emploi du chauffage au pétrole dans les souterrains a reçu quelques applications intéressantes, notamment sur le chemin de fer de l'Ad-berg (Autriche). On est parti de ce principe que, pour produire la même quantité de vapeur, le pétrole dégage plus de moitié moins d'anhydride carbonique que la houille.

Emploi
sur les navires.

L'emploi des huiles minérales pour le chauffage des chaudières de navires a dû être précédé d'expériences montrant que ce combustible n'offre pas de danger.

M^r Ewedde a reconnu que l'huile, dont le point d'inflammabilité varie de 121° à 149° est la plus convenable pour la combustion sur les steamers. Elle est emmagasinée dans des réservoirs situés au-dessous de la ligne de flottaison. Dans une huile de cette catégorie, on peut plonger un fer rougi au feu ou jeter des pelletées de charbon incandescent sans risquer qu'elle ne s'enflamme.

Les avantages de l'emploi du pétrole sur les navires sont les suivants:

1^o - Le pétrole à point d'inflammabilité assez élevé présente plus de sécurité que le charbon, puisqu'il n'est pas sujet à la combustion spontanée, accident fréquent, le nombre des cas d'échauffement suivis d'incendie variant de 1,4 à 2% par an.

2^o - Le ravitaillement en pétrole peut se faire en pleine mer, tandis que le ravitaillement en charbon nécessite en général un accostage à un quai, à un appontement ou une immobilisation sur une rade.

3^o - Il y a suppression de la fumée et de la suie.

4^o - La température des chaufferies est inférieure à celle qui se développe dans les salles de chaudières, quand on chauffe au charbon, parce que les portes des foyers n'ont pas besoin d'être ouvertes et qu'il n'y a pas de cendres à enlever.

5^o - Il y a diminution des pertes de chaleur par la cheminée, résultant de la propreté des tubes de chaudière et de la moindre quantité d'air qui pénètre dans la chambre de chauffe pour une consommation donnée de combustible. Avec la houille, on peut perdre 15 à 20% de combustible par la fumée, les poussières et les gaz non brûlés qui s'échappent de la cheminée, par le charbon qui tombe à travers la grille. On arrive, au contraire, à une combustion pratiquement complète du pétrole.

6^o - Le combustible liquide encrasse beaucoup moins les foyers que le charbon.

Le naphte protégeant les métaux contre l'oxydation, l'entretien des routes et des appareils divers est facile.

7^o - Les frais de manutention du combustible sont réduits, puisque tout se fait mécaniquement ou par la gravité, tandis que le combustible solide exige une main-d'œuvre importante.

8^o - Il y a suppression de l'emploi des outils à feu et des barreaux

de grilles et, par suite, moins de dommages à craindre pour les revêtements des foyers et des soles.

9° - Le réglage des feux est facile et rapide, depuis l'allure lente jusqu'à l'allure la plus rapide de combustion; le chef de quart peut régler seul les feux suivant les diverses allures de la machine. Le réglage des feux est important pour les navires de guerre.

10° - Il y a absence de soufre et d'autres impuretés, et, par suite, durée plus longue des tôles.

11° - Une tonne d'huile remplace près de 2 tonnes de charbon, et, si l'on tient compte de l'accrimage difficile des morceaux de houille, une tonne d'huile occupe 40 à 50 % seulement de l'espace occupé par une tonne de houille.

Malgré ces divers avantages, l'emploi du pétrole comme combustible sur le navire est resté limité surtout aux pays de production.

Les brûleurs à pétrole présentent, en effet, divers inconvénients, notamment celui-ci : leur débit est un peu faible et cela force à augmenter le nombre des brûleurs d'une manière exagérée, si l'on veut obtenir une production de vapeur intensive dans de grandes chaudières.

La Russie et les Etats-Unis sont jusqu'à présent les seules contrées qui puissent produire assez de pétrole pour en garantir l'adoption comme combustible sur les navires.

Toutefois, dans ces dernières années, la découverte de grands gisements de pétrole en Chine et dans les îles de la Sonde fait prévoir que ce combustible pourra, jusqu'à un certain point, remplacer le charbon qui revient si cher dans les mers lointaines. On pourra étendre son emploi sur la route maritime de Suez à Yokohama via Colombo, Bombay, Calcutta, Singapour, Bangkok, Hongkong Nagasaki et Kôlé, où l'on est encore aujourd'hui

exposé, à trouver de mauvais combustibles.

En Amérique, grâce à l'huile du Texas, on peut entrevoir l'application du chauffage au pétrole aux navires fréquentant l'Atlantique. Des dépôts de ce produit sont en cours d'installation à Southampton, Liverpool, Pauvre et le Havre.

Chapitre II.

L'alcool; ses applications industrielles à l'éclairage et au chauffage.

§ 1^{er} - L'alcool produit national. Le régime fiscal et les emplois de l'alcool en France et en Allemagne.

Importance, au point de vue agricole, de la question de la consommation de l'alcool.

L'alcool est un produit du sol et toutes les régions agricoles sont intéressées à son développement. Le nord de la France possède de nombreuses distilleries agricoles de betteraves; cette région trouve dans cette industrie, divers avantages au point de vue de l'agriculture: culture de la betterave alternant avec celle des céréales, pulpes pour nourrir les bestiaux l'hiver, etc.... En Allemagne, la fabrication de l'alcool est une industrie essentiellement agricole et le nombre des petites usines utilisant les pommes de terre, les grains et diverses autres matières, est très considérable.⁽¹⁾

(1) On sait que les substances contenant du sucre ou des corps susceptibles d'être transformés en sucres sont une des sources les plus importantes de l'alcool. Certains de ces sucres, comme ceux contenus dans les fruits, donnent directement de l'alcool par fermentation; c'est le cas du sucre de raisin, qui, sous l'influence

Aussi dans ces deux pays, la question de la production et de la consommation de l'alcool s'est-elle rapidement posée à l'attention des économistes et des ingénieurs. Nous allons d'abord résumer ici les efforts qui ont été faits dans chacun de ces pays pour régulariser la production et assurer la consommation d'un produit national.

Surproduction du sucre et de l'alcool.

En France, la culture de la betterave est, depuis quelques années, doublement menacée comme productrice de sucre et comme productrice d'alcool. Dans ces dernières années, la production de sucre a augmenté dans des proportions inattendues; en 1870, l'Europe fabriquait un million de tonnes de sucre; aujourd'hui, elle en produit près de 5.500.000. Or le tiers seulement de cette production peut être consommé sur place; le reste qui est destiné à l'exportation, ne trouve plus de débouchés. Les cultivateurs de betteraves se tournent alors vers la distillerie; mais là aussi il y a pléthore; si l'on fabrique trop de sucre, on fabrique également trop d'alcool; on en produit plus qu'on en consomme malgré les progrès effrayants de l'alcoolisme.

Augmentation en France de la consommation d'alcool de bouche.

Si on prend la quantité d'alcool consommée en France en 1850 et si on la divise par le nombre d'habitants, on voit que cette quantité représente, par tête et par an $1^{\text{lit}},46$. Aujourd'hui, elle représente $4^{\text{lit}},74$; soit $9^{\text{lit}},480$ d'eau de vie à 50°; nous buvons donc trois fois plus d'alcool que nos pères.

Il n'est pas étonnant qu'en présence de cette situation désastreuse, les pouvoirs publics et les sociétés particulières, soucieux

(suite du renvoi de la page précédente) d'un ferment (saccharomyces) se dédouble directement en acide carbonique et en alcool.

D'autres sucres ont besoin d'être transformés en variétés fermentescibles: enfin, d'autres substances ont besoin de subir une saccharification préalable, telles sont les matières amylacées (grains, pommes de terre), chez lesquelles il est nécessaire de transformer d'abord l'amidon en sucre.

de l'avenir de la patrie, aient cherché à enrayer les progrès de l'alcoolisme. Mais si la campagne entreprise réussit comme il faut l'espérer, la distillerie va perdre son meilleur client, l'alcoolique. Que va-t-elle faire de son alcool ?

Passons en revue d'abord les différents usages auxquels l'alcool est aujourd'hui destiné et recherchons dans quelle direction ces usages peuvent se développer.

Répartition de la consommation de l'alcool par tête d'habitant en France. Au lieu de citer les chiffres qui représentent la consommation de l'alcool pour différents usages, prenons ces chiffres, divisons-les par le nombre d'habitants de la France et recherche quelle est la quantité d'alcool dont chacun dispose pour ses divers besoins. Nous obtenons ainsi le tableau suivant dû à M. Lindet⁽¹⁾, éminent professeur à l'Institut National agronomique :

Consommation de bouche	4,740
Exportation (alcool à 100°)	0,752
Eclairage et chauffage, force motrice	0,247
Produits chimiques et pharmaceutiques	0,142
vinaigres.	0,140
Vins de liqueur (vinaigre)	0,060
Vins à l'alcool.	0,047

Débouchés possibles de l'alcool français. Ces usages peuvent-ils se développer. Les statistiques montrent que l'exportation est restée à peu près stationnaire depuis 20 ans. En ce qui concerne l'alcool réservé aux produits chimiques, la question peut être discutée; nos alcools ont été dégrévés récemment, mais trop tard; l'Allemagne a dégrévé les

(1) L. Lindet. - L'alcool domestique et industriel. Conférence faite à la Société Industrielle du Nord le 27 Janvier 1901 (Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie. - Mai 1901. - p. 849).

niens depuis longtemps et les fabricants de produits chimiques allemands, grâce à leur esprit scientifique, à leur esprit d'initiative, à leur discipline, grâce aussi à leur main d'œuvre et à leurs charbons à bas prix, peuvent fabriquer ces produits chimiques à si bon compte qu'ils sont aujourd'hui, sur ce point, les maîtres du marché. Il ne faut donc pas, de ce côté, espérer un développement de consommation.

Il en est de même du côté des vins de liqueur, du vinaigre et des veenir. Seules, les applications industrielles de l'alcool à la production de la force motrice, à l'éclairage et au chauffage sont susceptibles de sauver notre industrie de l'alcool.

Efforts faits en France pour développer les applications industrielles de l'alcool. C'est ce qu'ont parfaitement compris un certain nombre de personnalités telles que M. M. Lindet, Arachequesne, L. Léissé, Pierre Giffard, qui luttent depuis quelques années pour développer en France les emplois industriels de l'alcool. En Association p. l'emploi 1898, M. M. Brangier et Arachequesne fondèrent l'association industriel de l'alcool. pour l'emploi industriel de l'alcool et constituèrent ainsi un groupement ayant pour but d'étudier, au point de vue pratique les propriétés de l'alcool industriel qu'avaient révélées les expériences entreprises en Allemagne en 1896 et 1897. Et l'une des premières réunions de cette société, M. Boudon émit l'idée pour les distillateurs de se grouper en syndicat de vente pour majorer uniformément le prix de l'alcool de consommation de quelques francs, le boni devant servir à mettre de suite l'alcool dénaturé à un prix assez bas pour lutter contre le pétrole. Cette idée dont l'application a causé le développement de l'industrie de l'alcool en Allemagne, ne peut avoir de résultat en France, tant par suite des dissentiments entre distillateurs que par suite de l'art. 419 du Code pénal empêchant et punissant l'accaparement⁽¹⁾

⁽¹⁾ G. Arachequesne. — Emplois industriels de l'alcool. (Paris. Librairie de la Bourse du Commerce.) Dans

À la suite de cette association, la Société des Agriculteurs de France, dont la section de génie rural est présidée par M. Lorceau, consacre une partie de ses ressources à l'étude pratique de ces questions; des expériences sont faites à plusieurs reprises et donnent lieu à d'importantes communications. Sous l'influence des hommes compétents de cette Société, le régime fiscal de l'alcool destiné à l'industrie est l'objet de bien des remaniements successifs.

* Remaniements successifs
En 1898, le droit par hectolitre est abaissé de 38^f,30 à 3^f,80. Le 12 Novembre 1900, le vert malachite ou vert destiné à l'industrie d'aniline, employé pour la dénaturation de l'alcool d'industrie, est supprimé, à la suite de constatations qui montrent que ce produit obture les orifices capillaires des lampes et détériore les moteurs. En Mars 1901, une prime de 9 francs est donnée par hectolitre d'alcool destiné au chauffage, à l'éclairage et à la force motrice. Enfin, à partir du 1^{er} Janvier 1902, l'Etat rembourse les frais de dénaturation; il reste seulement par hectolitre d'alcool industriel un droit de statistique de 0^f,25 et un droit d'analyse de 0^f,10.

(Suite du renvoi de la page précédente) Dans cet ouvrage, M. G. Brachequesne, après avoir constaté l'insuccès de cette idée du groupement des distillateurs français, ajoute: « Le seul résultat fut que je vis arriver au secrétariat de l'Association, quelques semaines après la publication de cette idée, l'aimable et savant professeur Wittelschöfer, alors attaché à l'Institut des fermentations de Berlin et bras droit du conseiller Delbrück. Il arrivait à Paris pour s'informer de notre organisation, car cette idée de syndicat avait paru très bonne en Allemagne et l'on avait l'intention de nous imiter. Je dus me contenter de lui confesser que cette organisation n'existait que dans quelques cervelles gênées et, pour fournir des circonstances atténuantes à notre inertie, je plaidai l'impossibilité causée par notre article 419; mais, à mon grand regret, je dus laisser repartir le professeur Wittelschöfer sans le moindre renseignement utile.

« Rentrant en Allemagne, il n'en continua pas moins à défendre cette idée d'entente, convainquit les syndicats de distillateurs, le syndicat des rectificateurs et, en 1899, la Centrale für Spiritus Gewerthung ou Comptoir Central pour la vente de l'alcool, fut fondée ».

On peut donc dire qu'en France l'alcool dénaturé ne paie plus aucun droit.⁽¹⁾

Ces dégrèvements successifs entraînent le développement des appareils utilisant la combustion de l'alcool. Nous avons vu dans l'Introduction comment l'automobilisme avait puissamment contribué à cet essor par les épreuves importantes de 1899, 1900, 1901, organisées par les journaux le Vélo et l'Auto-Vélo; par celles de 1901 et 1902 auxquelles le Ministère de l'Agriculture a accordé son estampille officielle. Ce Ministère a institué en même temps des concours officiels pour l'éclairage et le chauffage par l'alcool. Enfin le premier Congrès officiel des applications industrielles de l'alcool vient de tenir ses assises au Grand Palais; la multiplicité et l'importance des communications montrent combien cette question passionne actuellement le monde industriel français et combien sont grands les efforts tentés pour arriver à une solution favorable aux intérêts des producteurs et des consommateurs d'alcool.

L'alcool à bas prix en Allemagne.

Ce problème de l'alcool à bas prix a déjà reçu en Allemagne une solution grâce aux encouragements du gouvernement impérial, mais surtout grâce à l'entente profonde qui s'est établie entre les industries agricoles. Nous allons indiquer les étapes par lesquelles a passé la question chez nos voisins.

(1) Actuellement le prix de revient de l'hectolitre d'alcool industriel en France peut s'établir ainsi qu'il suit :

Cours moyen des alcools 90°	36 francs l'hectolitre
_____ id. _____ mauvais goût	35 _____ id. _____
Statistique et Divers.	1 _____ id. _____
Cours moyen des alcools dénaturés	36 _____ id. _____

Or, à un prix de 36 francs en gros, correspond un prix de détail de 0,45 ou 0,50 le litre. Ce prix réduit demanderait à être encore abaissé pour la lutte industrielle.

Historique du développement en Allemagne de la question de l'alcool industriel. C'est à partir de 1875 que la distillerie allemande prend un développement rapide; alors que nos vignes phylloxérées ne peuvent plus fournir d'eau-de-vie, les trois-six de Prusse sont recherchés par les entrepositaires français jusque vers 1884. Mais, pendant cette période, les distilleries agricoles industrielles de France s'installent ou augmentent leur production et des droits prohibitifs sur l'alcool viennent arrêter cet exode des trois-six allemands. Une crise s'en suit en Allemagne, crise pour le moins aussi aiguë que celle que subit en ce moment la distillerie française, et avec les mêmes caractères fâcheux de luttes intestines entre distillateurs industriels et agricoles.

En 1887, une nouvelle législation dite législation du contingent⁽¹⁾ vient faire la part de chacun en relevant l'impôt de l'alcool de bouche et en accordant des primes indirectes à la petite distillerie agricole ainsi que des primes à l'exportation pour la distillerie industrielle. Grâce à ces primes, l'Allemagne retrouve de nouveaux débouchés pour ses alcools qui vont vider les vins d'Espagne et d'Italie, dont, à cette époque, nous sommes encore tributaires à cause du phylloxéra.

Mais en 1892, lors du renouvellement des traités de commerce, les débouchés se trouvent à nouveau fermés pour l'Allemagne et l'augmentation des stocks vient peser sur le marché bien que toute lutte ait cessé entre les distillateurs industriels et agricoles.

⁽¹⁾ Pour les détails relatifs à cette loi du contingent, voir :

Basset - Le Régime des alcools en Allemagne (Bulletin du Ministère de l'Agriculture. septembre 1900. p. 402-581).

Siderosky - Les emplois industriels de l'alcool à l'exposition agricole de Halle-sur-Saale. (Bulletin du Ministère de l'Agriculture. 20^e année - 1901 - N° 5. p. 1061 - 1108).

Mesures prises par le gouvernement allemand pour favoriser le développement des applications industrielles de l'alcool.

C'est alors, qu'apparaissent les premières lampes à éclairage par l'alcool et que le gouvernement allemand, voyant là un nouveau débouché intérieur pour ses alcools, fait adopter en 1895 une loi complémentaire de celle de 1887, loi qui accorde une prime à l'alcool dénaturé, assimilant celui-ci à l'alcool d'exportation. Cette prime, qui est de 2 marks 50 (environ 3^f,10) à l'hectolitre en 1895, est portée à 3 marks 50 (environ 4^f,35) en octobre 1898 et enfin à 4 marks 50 (environ 5^f,60) en octobre 1899⁽¹⁾.

En outre, dans le but de favoriser les emplois industriels de l'alcool, l'Etat prend les mesures suivantes :

- 1^o - Il interdit la dénaturation de l'alcool au-dessous de 87°;
- 2^o - Il supprime la patente pour la vente au détail de l'alcool dénaturé, le débitant n'ayant qu'à prévenir l'administration fiscale quinze jours à l'avance pour obtenir le droit d'avoir un dépôt;
- 3^o - Il accorde au transport par chemin de fer d'alcool dénaturé un tarif spécial très réduit.

D'autre part, l'administration fiscale, qui est très sévère pour l'alcool allant à la consommation de bouche, et qui ne transige jamais en cas de fraude, se montre, au contraire, très libérale pour l'alcool allant à la consommation industrielle, puisqu'elle accorde, pour certains usages, l'exonération d'impôts sans dénaturation aucune. C'est le cas de l'alcool employé en parfumerie, en pharmacie et dans les laboratoires scientifiques.

Quant à l'alcool dénaturé, il en existe deux catégories distinctes. Celui traité par le dénaturant général, employé pour l'éclairage, le chauffage et la force motrice (l'alcool à brûler) circule

(1) En réalité, lorsque quelqu'un dénature de l'alcool, il reçoit du gouvernement une somme égale à 16 marks 01 + 4 marks 50 = 20^{mk}, 51 (environ 25^f,65), 16^{mk}, 01 représentant l'impôt dit sur la Cure-Matière.

librement dans le commerce. L'alcool destiné aux diverses industries chimiques, telles que la fabrication du vinaigre, des vernis, du celluloid, de la poudre sans fumée, des alcaloïdes, etc.,... quitte la distillerie avec un acquit à caution, et en arrivant à l'usine qui doit l'employer, est dénaturé avec une substance appropriée suivant la nature de la fabrication à suivre. ⁽¹⁾

- * ⁽¹⁾ Voici la liste complète de ces dénaturants spéciaux qu'on ajoute par hectolitre d'alcool à 100°:
- a - Vernis et étoffes caoutchoutées : 20 litres d'une solution de 1 gramme de gomme laque dans 9 gr. d'alcool à 95°.
 - b - Celluloid : 1 kgr. de camphre ou 2 litres d'essence de térébenthine ou 500 cm³ de benzol.
 - c - Ether, aldéhyde, paraldéhyde, éthylsulfate, bromure d'éthyle, chlorure et iodure d'éthyle, agaricine, podophylline, scammonium, gaiacol, chloral, éther acétique, jalapenol et autres résines, blanc de cécube, acétate de plomb, alcaloïdes, glucosides, collodions divers, pancréatine, santonine, acide salicylique et salicylates, tannin, matières colorantes artificielles et les produits intermédiaires, plaques et papiers sensibles pour la photographie. } 10 litres d'éther
ou 1 litre de benzol
ou 500 cm³ d'essence
de térébenthine
ou 25 centim³
d'huile animale.
 - d - Chloroforme : 300 grammes de chloroforme.
 - e - Iodoforme : 200 grammes d'iodoforme.
 - f - Encres et laques colorées : 500 cm³ d'essence de térébenthine ou 25 cm³ d'huile animale.
 - g - Laques de toutes sortes et Eclaircissements : 2 litres de méthylène et 2 litres d'essence de pétrole -
ou 500 cm³ d'essence de térébenthine.
 - h - Alimentation des lampes à souder, apprêt de rubans de soie, nettoyage de bijouterie : 500 cm³
d'essence de térébenthine.
 - i - Préparations scientifiques (médicinales, botaniques ou zoologiques) : 1 litre d'alcool méthylique pur +
1 litre d'essence de pétrole.
 - k - Savonnerie : 1 kgr. d'huile de ricin + 400 cm³ de lessive de soude.
 - l - Vinaigre : 200 litres de vinaigre à 3% d'acide acétique. — ou 150 litres de vinaigre à 4% — ou 100 litres de
vinaigre à 6% — ou 75 litres de vinaigre à 8% — ou 60 litres de vinaigre à 10% — ou 50 litres de vinaigre à
12% — ou 30 litres de vinaigre à 16%, auxquels on ajoutera 70 litres d'eau et 100 litres de bière.
- (Sidceki - Rapport sur l'Exposition des emplois industriels de l'alcool à Berlin en Février 1902.
Bulletin du Ministère de l'Agriculture - 1902 - n° 2).

Ainsi la circulation libre de l'alcool dénaturé, les facilités accordées à l'usage de l'alcool pour la fabrication des préparations chimiques, l'abaissement du prix de l'alcool dénaturé par la prime de 4^m 50, l'abaissement des tarifs de chemin de fer et la suppression de la patente des débitants, sont certainement des causes qui ont favorisé l'usage industriel de l'alcool en Allemagne.

Union syndicale des
distillateurs allemands.

La Centrale pour la mise
en valeur de l'alcool.

Mais il faut bien le dire, ces causes ne sont pas les seules; l'influence de l'esprit d'association s'est également fait sentir d'une manière très nette.

Dans le but de ne pas avilir le prix de l'alcool par une surproduction et de s'arranger pour que le développement de ses emplois industriels soit progressif et parallèle à l'augmentation de sa production, 4000 distillateurs disséminés dans toute l'Allemagne se sont syndiqués pour vendre en commun leur production d'alcool, en faisant tous les sacrifices nécessaires pour pousser presque de force, à la consommation de l'alcool dénaturé. ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Voici quel est, d'après M. Arachequeune, le rapide historique du groupement agricole allemand.

Dès 1857, les distillateurs agricoles allemands se groupaient en syndicats, et en 1874, confiaient la défense technique de leurs intérêts aux professeurs Maercker, de Halle sur-Saale et Delbrück, de Berlin. Les résultats furent tels que dans la période de 1874 à 1882, les industriels agricoles de la brasserie, de la fabrication des laines pressées, de l'amidon, de la vinaigrerie, etc.... se réunirent également en syndicats sous ils confièrent la haute direction aux mêmes savants. Ceux-ci, non contents de ce résultat déjà considérable, réussirent, tout en laissant l'autonomie à chaque syndicat professionnel, à les grouper en une association véritable de toutes les industries agricoles allemandes, sauf la Sucrierie, qui, pour des raisons spéciales à la législation allemande, est restée complètement indépendante. L'Institut für Gärungsgewerbe und Stärkefabrikation (Institut pour l'Industrie de la fermentation et la fabrication de l'amidon) est le trait d'union de ces associations. L'institut, actuel des fermentations, édifié en 1898 dans la Seestraße, aux portes de Berlin, comprend un magnifique bâtiment renfermant les amphithéâtres

La totalité de l'alcool produit par l'Union syndicale des distillateurs est remise à une société de rectificateurs, sorte de syndicat de vendeurs, laquelle porte le nom de Centrale für Spiritus Verwerthung ou Centrale pour la mise en valeur de l'alcool, société anonyme ayant son siège à Berlin. Ces deux syndicats sont accouplés ensemble et ne peuvent fonctionner l'un sans l'autre; ils ont passé entre eux un marché pour un certain nombre d'années, d'après lequel la Centrale s'engage à écouler tout l'alcool produit par l'Union syndicale des distillateurs dans les conditions les plus avantageuses.

Pour arriver à ce but, la Centrale a organisé une section technique très importante, dont elle a confié la direction à des gens très versés dans les questions techniques et rompus aux affaires. Cette section technique s'est attachée à introduire dans les mœurs l'emploi de l'alcool pour l'éclairage, le chauffage et la force motrice.

Elle a donc fait le sacrifice nécessaire pour abaisser le prix de l'alcool dénaturé, de manière que le détaillant puisse le vendre en moyenne à 30 pfennings (environ $30 \times 0,0125 = 0,375$) le litre dans toute l'Allemagne; déjà, et c'est là une innovation très importante, 26.000 dépot

(suite du rapport de la page précédente) laboratoires, salles d'études, aussi bien pour les recherches scientifiques et analyses intéressantes toutes les industries agricoles, que pour les étudiants qui viennent se perfectionner dans l'étude de ces industries. Des champs d'expériences, avec serres, permettent en outre les essais de culture. Enfin deux autres bâtiments renferment: l'un, une importante brasserie; l'autre, une distillerie avec fabrique de fécule et une vinaigrerie. L'ensemble de l'installation a coûté près de 8 millions de marks (environ 10.000.000 de francs) fournis en partie par les syndicats professionnels, par le gouvernement de l'Empire, par la ville de Berlin. Et part, cela, l'Institut ne reçoit aucune subvention annuelle; il doit vivre de ses propres ressources, qui sont: les Minervalia des étudiants (frais d'examen, d'inscription, de laboratoires, ...) les honoraires pour analyses, la vente de ses journaux, dont le plus important est le Zeitschrift für Spiritus Industrie; enfin, la vente des produits des usines: bière, alcool, levures pures pour brasserie et distillerie, fécule, amidon, vinaigre, drèches et pulpes.

D'alcool en bidons et en litres plombés ont été créés dans toute l'Allemagne. Quant à l'alcool dénaturé pris en gros, la Centrale le cède à des prix bien inférieurs en faisant des marchés de longue durée. C'est ainsi que, pour des marchés d'une certaine importance, l'alcool dénaturé employé pour la force motrice est vendu au prix de 20 marks (environ 25 francs) en hiver, 21 marks (environ 26,25) en été, l'hectolitre rendu franco dans n'importe quelle gare allemande. Quant aux appareils, la Centrale s'est mise en rapport avec les principaux constructeurs de lampes, de réchauds et de moteurs, auxquels elle a prodigué son concours matériel et intellectuel, en ouvrant de nombreux concours, en fondant des prix importants et en organisant des expositions et des conférences. (1)

Consommation de l'alcool par tête d'habitant en Allemagne. Tous les efforts ont abouti au remarquable essor industriel de l'alcool que nous constatons aujourd'hui en Allemagne. Si, comme nous l'avons fait plus haut pour la France, nous rapportons

(1) Pour avoir une idée des moyens puissants avec lesquels agit la Centrale, il suffit de rappeler que le Comité Supérieur de cette Association a accordé une somme annuelle de 500.000 marks (environ 625.000^f) pour populariser les emplois industriels de l'alcool par les moyens énumérés.

Pour l'éclairage extérieur, la Centrale s'est mise en campagne aussitôt après sa constitution, en faisant un appel aux principales villes et aux administrations publiques, en leur offrant de faire des installations gratuites, de leur prêter des lampes à titre d'essai pendant trois mois, ainsi que de leur fournir gratuitement l'alcool nécessaire pour cette longue période. Pour l'éclairage domestique et le chauffage, on a ouvert à Berlin et dans un grand nombre d'importantes villes allemandes de beaux magasins de vente de lampes, réchauds; le crédit annuel prévu par le Comité de la Centrale pour ces magasins est de 110.000 marks (environ 137.500^f).

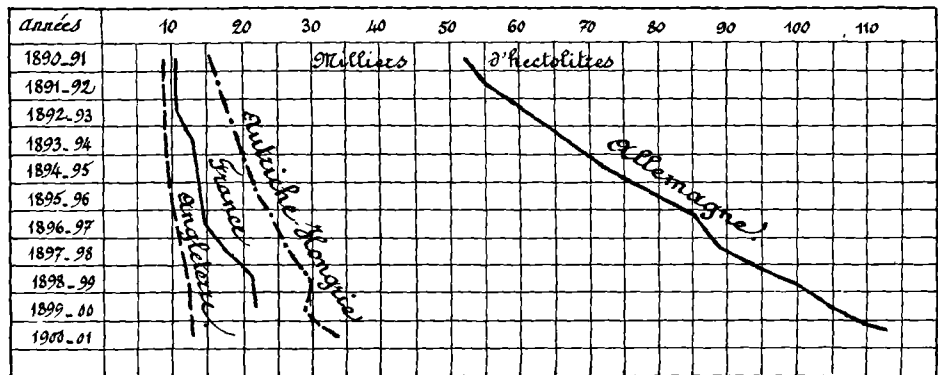
Enfin, pour la dénaturation proprement dite, on s'est arrangé pour l'effectuer le plus souvent chez le distillateur lui-même et expédier l'alcool jusqu'à l'entrevue où il trouve son écoulement pour la consommation, en profitant des tarifs réduits que les C.^{ies} de chemin de fer ont accordés à l'alcool dénaturé.

la consommation d'alcool à ce qu'elle est par année et par tête d'habitant, nous trouvons pour l'exercice allemand 1899-1900 (c'est à dire du 1^{er} Oct. 1899 au 30 Septembre 1900), les résultats suivants :

Consommation de bouche	_____	4 ^{lit} , 400
Eclairage et chauffage	_____	1, 178
Produits chimiques et pharmaceutiques	_____	0, 404
Vinaigres	_____	0, 300
Vernis à l'alcool	_____	0, 003

Si nous comparons ces nombres à ceux que nous avons donnés plus haut, nous voyons qu'à la fin de 1900, si nous buvions 1,07 fois d'alcool de plus que le Allemand, nous en brûlions 4,8 fois moins et nous en employions 2,15 fois moins aux autres usages industriels (chimie, pharmacie, vinaigrerie, -----). Ces chiffres nous montrent de plus qu'à cette époque, en France, la consommation de bouche était près de 8 fois plus grande que la consommation industrielle tandis qu'en Allemagne, elle n'était que 2,5 fois plus grande ⁽¹⁾.

Enfin, le tableau graphique suivant dressé par le professeur



(1) Ces résultats sont empruntés au rapport de M^r Siderosky que nous avons déjà cité. Voici comment, en Allemagne, se décompose la consommation pour l'année 1899-1900 (l'exercice de la Régie allemande est du 1^{er} Oct. au 30 Sept. suivant)

Production

Wittelschaefer, de l'Institut des fermentations de Berlin, montre comment s'est développée depuis 1890 la consommation de l'alcool pour usages industriels.

(suite du renvoi de la page précédente)

Production.

Nature des Distilleries	Nombre de distilleries	Production en hectolitres d'alcool.	Pour 100 de la production totale.	
Distilleries agricoles	Pommes de terre	6.262	2.942.765	80,2
	Grains	7.648	246.292	6,7
Distilleries industrielles	Pommes de terre	72	5.226	0,1
	Grains	1.040	352.414	9,6
	Melasse	28	94.734	2,6
	Fruits et autres matières.	43.974	26.389	0,7
Total.	59.024	3.667.820	100.	

Consommation.

Alcool de bouche (imposé) 2.449.758 hectol.

Alcool affranchi de tout impôt :

a - Dénaturé entièrement (à brûler) 652.022

b - Dénaturé partiellement :

avec 5% de méthylène (pour les besoins industriels) 23.055

avec 0,50% de pyridine (pour certaines industries) 210

avec du vinaigre et de l'eau ou du vin ou de la bière (fabrication du vinaigre) 16 1.672

avec de l'essence de térébenthine (produits chimiques) 58.974

avec de l'huile animale (— id —) 78.777

avec de l'éther sulfurique (— id —) 4.995

avec de la gomme laque (fabrication de vernis) 1.636

avec du camphre (fabrication de celluloid) 5.246

avec d'autres substances. 2.259

c - Sans dénaturation aucune (Science, médecine, parfumerie) 51.314

Comme on le voit, c'est l'Allemagne qui tient de beaucoup la tête et comme quantité d'alcool consommée et comme augmentation de la consommation.

L'alcool industriel dans les colonies.

Cette avance que l'Allemagne possède sur nous en Europe, nous pouvons la rattraper dans nos colonies. Le sorgho, le maïs, le mil en Algérie, au Soudan et au Congo; les melasses de cannes aux Antilles et à la Réunion; le riz en Indo-Chine et à Madagascar, peuvent fournir de grandes quantités d'alcool industriel susceptibles de transformer dans ces pays les moyens de transport. Les difficultés rencontrées au Soudan et même en Algérie, celles que tente de surmonter à Madagascar le général Gallieni, pour l'adoption des automobiles, sont dues en grande partie aux difficultés d'approvisionnement de l'essence de pétrole dont le prix est très élevé par suite des difficultés de transport, des primes d'assurance et, par suite de ce fait, que les Compagnies de navigation n'acceptent pas les barils de pétrole et d'essence dans leurs navires faisant un service régulier. D'autre part, le pétrole et surtout l'essence sont d'une telle volatilité que, dans les pays chauds, il se produit des pertes importantes par des évaporations imperceptibles, pertes auxquelles correspond une diminution importante de la qualité du produit par suite de la diminution d'homogénéité.

Les colonies et les pays d'outre-mer, en général éloignés des centres pétrolifères, doivent donc être et sont les premiers consommateurs importants d'alcool industriel, et c'est là que les constructeurs de moteurs doivent rechercher d'abord leur clientèle. ⁽¹⁾

(1) M^e Trachequemé cite ce fait d'un distillateur des îles Philippines qui avait acheté, il y a quelques années, un canot à pétrole pour remplacer les 12 nègres qui servaient à faire son service très intermittent dans la baie de Manille. Quelques mois après la mise en service, les difficultés de ravitaillement en pétrole

§2 - Etude physique et chimique de l'alcool pur et de ses dénaturants.

Composition de l'alcool
ordinaire.

L'alcool ordinaire ou alcool éthylique absolu est un liquide incolore, avide d'eau, ayant pour formule C^2H^6O .
(C=12 H=1 O=16).

Propriétés physiques.

Il bout à $78^{\circ},4$; sa densité à 0° est 0,806 et à 15° , elle est de 0,795.

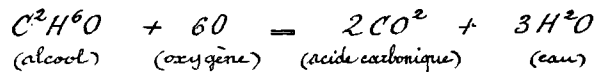
La vaporisation de l'alcool exige 9,8 calories-grammes par molécule (en poids 46 gr).

La combustion qui exige au moins 7 Kgr. d'air par Kgr. d'alcool produit 323,9 calories-grammes par molécule ou 7042 calories-grammes par kilogramme. Nous verrons plus loin dans quelles conditions ces nombres sont obtenus.

Combustion.

Cette combustion peut se produire de plusieurs manières différentes :

1^o - Quand l'oxygène est en excès et à température élevée, on a la formule :



c'est la combustion complète de l'alcool.

2^o - Quand l'oxygène n'est pas en excès et que la température n'est pas très élevée, on a :

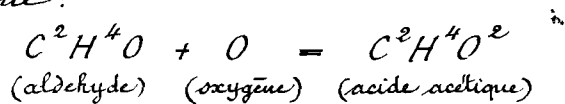


On a ainsi formation d'aldéhyde éthylique qui, à son tour, se transforme

(suite du récit
de la page précédente)

fixes telles que le canon fut remis et n'eut jamais plus été employé si le propriétaire n'avait eu l'idée d'utiliser l'alcool produit dans ses usines. Dans un voyage en France, il fit transporter son moteur. Actuellement, il trouve à cette modification commodité et économie puisque l'alcool qu'il tire des mélasse de cannes lui revient à 15 francs l'hectolitre, tandis que le pétrole lui coûtait près de dix fois plus cher.

en acide acétique :



L'acide acétique, en présence de l'alcool en excès, donne l'éther acétique, etc..... On voit donc que, pour la force motrice, il y a grand intérêt à brûler l'alcool en présence d'un excès d'oxygène, afin d'éviter la formation des corps plus ou moins corrosifs dont nous venons d'indiquer les formations.

L'alcool est un puissant dissolvant des corps gras en particulier.

Dans la pratique, on n'emploie pas l'alcool absolu; mais on livre au commerce de l'alcool contenant 10% d'eau ou alcool à 90°. De plus, on fait subir à cet alcool l'opération obligatoire de la dénaturation avant son emploi industriel.

Insistons un peu sur cette question de la dénaturation, qui est d'une importance capitale dans le sujet, qui nous occupe. C'est en effet du choix d'un bon dénaturant que dépend en grande partie la propagation de l'emploi industriel de l'alcool.

Propriétés d'un bon
Dénaturant.

Quelles sont les propriétés que l'on doit exiger de ce dénaturant ? D'après M^e le D^r Lang, qui est particulièrement compétent en la matière, elles sont les suivantes :

1^o - Pour rendre l'alcool impropre à la consommation, le dénaturant doit lui donner un goût repoussant.

2^o - Il ne doit pas amener, dans l'emploi de l'alcool, des inconvénients, tels que production d'odeur et de fumée pendant la combustion; encrassement des appareils de chauffage, d'éclairage ou de locomotion; diminution du pouvoir calorifique de l'alcool.

3^o - Il doit être d'un prix assez modéré pour ne pas augmenter le prix de l'alcool dénaturé.

4° - Il doit agir à dose assez faible et cependant être suffisamment apte à être décelé dans l'alcool du commerce.

5° - Il doit être de propriétés physiques et chimiques assez voisines de celles de l'alcool, pour que les procédés chimiques et physiques dont on dispose ne puissent permettre de l'en séparer complètement et donner ainsi le moyen de renaturer l'alcool.

5° - Enfin le dénaturant ne doit pas être un des produits qui existent normalement dans les alcools d'Industrie.

On a proposé de nombreux dénaturants, mais bien peu satisfont aux conditions que nous venons d'indiquer.

Dénaturant actuellement employé en France. En France, le dénaturant actuel consiste dans l'addition à un hectolitre d'alcool pur, à 90° Gay-Lussac, du mélange suivant :

{ 10 litres de méthylène à 90° Gay-Lussac,
0,500 de benzine-régie.

Méthylène

Le méthylène employé est de l'alcool méthylique pur ⁽¹⁾ (formule CH^4O) marquant 90° Gay-Lussac (15° centig.), contenant 25% d'acétone et au moins 5% des matières odorantes qui proviennent de la distillation du bois en vase clos.

Benzine; type Régie.

La benzine lourde type Régie est un produit qui, par la distillation des goudrons de houille, passe entre 150° et 200°. Ce produit diffère essentiellement de la benzine pure qui bout à 80°/4 et dont la densité est de 0,88 à 15° cent. C'est donc un produit complexe mal défini et l'on s'accorde à dire qu'il serait préférable de restreindre les limites de sa distillation pour le tenir par exemple, en dessous de 160°.

(1) L'alcool méthylique absolument pur ne possède aucun goût, aucune odeur désagréable, au point qu'il pourrait lui-même être employé à la fabrication des liqueurs. C'est pour cela que l'on y incorpore 25% d'acétone et 5% d'autres produits odorants.

ce qui correspond à la benzine à détacher ou Solvent Naphta.
En présence de certains corps, la benzine s'oxyde et donne des acides
oxalique, benzoïque, etc.....

Inconvénients du dénaturant actuel. Le prix du méthylène est élevé par rapport au prix de l'alcool; il coûte, en effet, 1,00 le litre tandis que le litre d'alcool à 90° vaut en gros 0,35. De plus, son pouvoir calorifique est faible; en effet, le kgr. d'alcool méthylique pur ne dégage que 5000 calories-grammes, soit presque 30% de moins que l'alcool éthylique pur.

Or il résulte des expériences de M^e Trillat et de M^e Lindet, qu'on retrouve le méthylène dans tous les produits de fractionnement d'un alcool dénaturé contenant 1% de ce produit⁽¹⁾ (1 litre de méthylène par hectolitre d'alcool.). Aussi demande-t-on actuellement en France, que la proportion de méthylène soit réduite de 10% à 1%.⁽²⁾

(1) M^e Trillat, a montré que les acétals de l'alcool méthylique et de l'alcool éthylique (ces acétals sont obtenus par l'oxydation de l'alcool) forment avec la diméthylaniline une base, qui, si elle provient de l'acetal méthylique, $\left[\text{CH}^2 \begin{array}{l} \text{OCH}^3 \\ \text{OCH}^3 \end{array} \right]$ bleuit par l'oxyde pur de plomb (PbO^2); qui au contraire ne se colore pas si elle provient de l'acetal éthylique $\left[\text{CH}^3 - \text{CH} \begin{array}{l} \text{OC}^2\text{H}^5 \\ \text{OC}^2\text{H}^5 \end{array} \right]$.

(2) Les intéressés se basent sur les conclusions du remarquable rapport rédigé par M^e Sorel, au nom d'une commission officielle d'études nommée en Janvier 1900 par le Ministère de l'Agriculture.

Les conclusions de ce rapport, en ce qui concerne la force motrice, ont été les suivantes:

- 1^o Suppression, comme dénaturant, du vert malachite, réforme actuellement réalisée;
- 2^o Fixation, pour la dénaturation, du taux d'alcool méthylique à 90°, à un volume de ce corps pour 100 volumes d'alcool à dénaturer;
- 3^o Fixation, pour la dénaturation, du taux de benzine lourde à 1 vol. pour 100 vol. à dénaturer, cette benzine distillant à 180°, au maximum.

Il est probable que le maintien du taux de 10% pour le méthylène est dû aux efforts des industriels forestiers pour lesquels la dénaturation des alcools est un des principaux débouchés de leur industrie.

Remarque

Propriétés de l'alcool dénaturé

L'alcool dénaturé bout à $77^{\circ}5$; sa densité est de 0,832 à 15° centig.; il marque à 15° cent. $90^{\circ}5$ à l'alcomètre centésimal de Gay-Lussac. Si à 100° , on évapore 100 cm^3 d'alcool dénaturé, on obtient un résidu de 0,104 gr. par litre; à 250° , ce résidu est de 0,063 gr. par litre; en brûlant, à l'air libre, 100 cm^3 d'alcool dénaturé ont donné 0,03 gr. par litre. Ces résidus proviennent principalement de la benzine lourde et des produits pyrolytiques du méthylène. ⁽⁴⁾

Dénaturant général allemand.

En Allemagne, comme dénaturant général, on ajoute à chaque hectolitre d'alcool à 90° , un mélange de :

(Suite du cours de la page précédente)

Remarque sur le vert malachite. - Le dénaturant indiqué par M. E. Bady, a souvent été confondu avec la malachite, carbonate de cuivre hydraté, qu'on trouve en minerais dans l'Oural. Le vert malachite est un produit tiré des goudrons de houille comme l'aniline (c'est l'oxalate de tétraméthyl-diamidodiphénylcarbinol); on ajoutait avant 1901, un gramme de ce produit par hectolitre d'alcool dénaturé, afin de déceler la présence du dénaturant; cette proportion, quoique faible, gênait au possible pour tous les emplois industriels. Condamné dans le rapport Sorel, le vert malachite fut définitivement supprimé, à la suite du concours Laxis-Rouen (Oct. 1900) qui démontra les impedimenta pratiques qui résultaient de son emploi.

(4) On a proposé d'autres dénaturants. M. le Dr Lang a proposé, le premier, d'employer la méthyléthylcétone que l'on obtient, comme impureté sans emploi dans la préparation industrielle de l'acétone par distillation sèche de l'acétate de chaux brut; ce dénaturant peut être employé à la dose de 1 à 2% et sa présence peut être facilement décelée en chauffant l'alcool le contenant avec du chlorhydrate de phénylhydrazine; celle-ci se combine avec l'acétone et l'osazone formée se précipite par l'addition d'eau en déterminant un louche dans la liqueur. Enfin ce produit n'a aucun inconvénient au point de vue de la combustion de l'alcool et ne peut pas en être isolé. M. M. A et L. Buisson ont montré qu'on pouvait extraire la méthyléthylcétone des eaux de lavage de la laine en suint. On a donc proposé d'ajouter à 1 hectolitre d'alcool à 90° , un mélange formé de :

- { 1 litre d'alcool méthylique,
- { 1 litre d'huile de suint formée en majeure partie de méthyléthylcétone,
- { 1 litre de benzine du type Solvent Naphta.

{ 2 litres d'alcool méthylique ;
500 centim. cubes de bases de pyridine ⁽¹⁾, produit extrait de l'huile

De plus, depuis Novembre 1899, on a la faculté, si on capture ^{à 65°} l'alcool, avec 2% au moins de benzine, de n'employer que la moitié de la proportion ci-dessus, c'est à dire, que par hectolitre d'alcool à 90°, on ajoute :

{ 1 litre d'alcool méthylique,
250 centim. cubes de pyridine,
2 litres de benzine (au minimum).

Alcools carburés

On a cherché depuis longtemps à augmenter le pouvoir calorifique de l'alcool en mélangeant celui-ci avec un corps riche en carbone.

Le produit employé à la carburation de l'alcool est en général le Benzol ou Benzine de houille, de formule C^6H^6 . Elle se dissout dans l'alcool à 100° en toutes proportions ; mais, avec l'alcool dénaturé à 90°, on ne peut dissoudre pratiquement que 70 parties de benzine dans 30 parties d'alcool.

Le benzol demande par litre 9,8 à 5,9 litres d'air selon qu'il se transforme en CO_2 ou en CO , et en eau, ce qui indique, qu'une bonne combustion exige une quantité d'air bien plus grande, que celle de l'alcool qui ne demande, par litre, que 5,9 litres d'air au maximum pour une combustion complète.

Depuis peu, on est arrivé à sélectionner les mélanges, et les dernières expériences faites portent sur des alcools carburés dénaturés.

(1) La présence des bases de pyridine dans un alcool douteux est facile à déceler au moyen d'une solution alcoolique de chlorure de cadmium (5%) dont on ajoute 5 cm³ à 10 cm³ d'alcool à essayer. Le liquide se trouble, plus ou moins rapidement suivant la quantité de pyridine présente, et l'on peut ainsi retrouver sûrement l'addition frauduleuse d'alcool dénaturé, si cette addition ne descend pas au-dessous de 5%, soit une teneur en pyridine de 0,025 pour cent.

"à 50%" et "à 75%", c'est à dire, contenant :

le premier : 50% d'alcool dénaturé à 90°
et 50% de benzine,

et le deuxième : 75% d'alcool dénaturé à 90°
et 25% de benzine.

Nous avons, dans la composition de ces mélanges, employé à dessein la dénomination de benzine au lieu de benzol. On emploie en effet, pour la carburation de l'alcool, des benzines impures⁽¹⁾ dites "90 ou 50 de rectification", qui contiennent environ 60 pour 100 de benzol, 30 à 35% de toluène, 5 à 10% de xylène.

L'alcool synthétique Dans ce qui précède, nous n'avons parlé, comme sources de industriel. production de l'alcool que des substances contenant du sucre ou des corps susceptibles d'être transformés en sucre. Mais on sait depuis longtemps dans les laboratoires produire l'alcool ordinaire à partir de l'acétylène. Voici la suite des opérations qui permettent de passer de l'acétylène à l'alcool.

1^o - L'acétylène se combine avec l'hydrogène pour donner un nouveau gaz l'éthylène; la réaction peut être représentée par la formule

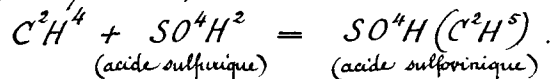
$$\begin{array}{ccc} \text{C}^2\text{H}^2 & + & \text{H}^2 & = & \text{C}^2\text{H}^4 \\ \text{(acétylène)} & & & & \text{(éthylène)} \end{array}$$

2^o - Si on fait bouillir cet éthylène se dans de l'acide sulfurique

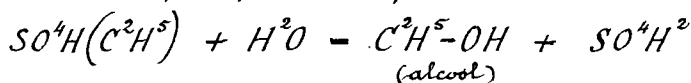
(1) Ces benzines s'extraient de la distillation des goudrons de gaz; suivant les charbons, suivant la manière dont on a distillé la houille, on tire du goudron 1 à 2% d'un mélange de benzol, de toluène et de xylène, qui passe à la distillation entre 100° et 120°.

Les fours à coke sont aussi de très gros producteurs de benzines impures; la proportion des produits obtenus est un peu plus forte que pour le goudron de gaz parce que dans ces exploitations, on lave le gaz de manière à en tirer le maximum de produits volatils sans se préoccuper du pouvoir éclairant; suivant la qualité des houilles, la quantité de benzine "50 de rectification" varie de 4 kgr. à 6 kgr., c'est à dire de 4^{lit.} à 7^{lit.} par tonne de houille distillée.

à 66° Baumé, on obtient le sulfate acide d'éthyle ou acide sulfovinique $SO^4H(C^2H^5)$ d'après la formule :



3° - L'acide sulfovinique traité par l'eau donne l'alcool ordinaire.



4° - L'alcool est facilement séparé de l'acide sulfurique. Tant que la production de l'acétylène n'était pas industrielle, on ne pouvait songer à établir une lutte quelconque entre l'alcool agricole et l'alcool de synthèse. Mais on sait qu'actuellement toutes les régions qui, utilisant les chutes d'eau, obtiennent l'énergie électrique à très bas prix, se sont mises à préparer le carbure de calcium par la méthode du four électrique. Ce produit permet, par son contact avec l'eau, de préparer rapidement l'acétylène.

La chaux est évidemment un sous-produit qui n'offre aucune valeur. Mais le carbure de calcium n'est pas le seul composé susceptible d'engendrer l'acétylène.

Il y a toute une série de carbures obtenus d'une façon analogue au carbure de calcium qui peuvent être décomposés par l'eau en donnant de l'acétylène et des oxydes qui ont une grande valeur au point de vue commercial. C'est ainsi que, si au lieu de se servir de carbure de calcium, on utilise les carbures de baryum, de strontium, de zirconium, de lanthane, d'yttrium, de cérium et de thorium, on obtient comme sous-produit, de la baryte, de la strontiane, de la zircon, des oxydes de lanthane, d'yttrium, de cérium et de thorium, qui sont utilisés dans de nombreuses industries. Par exemple, les oxydes de lanthane, d'yttrium, de cérium et de thorium servent à la confection des manchons à incandescence; la baryte et la strontiane sont employées en sucree,...

On conçoit donc, que, si l'on part de produits relativement

impurs pour les transformer en carbures donnant, au contact de l'eau, un oxyde relativement pur, l'acétylène, qui se produira dans la réaction pourra être considéré comme un résidu sans valeur et être utilisé avantageusement pour la fabrication synthétique de l'alcool.

Ajoutons même que les sous-produits de la fabrication de l'alcool pourront être utilisés, puisque l'acide sulfurique servant à la transformation, reste comme vinasse et peut être utilisé à la fabrication du sulfate de fer en donnant l'hydrogène nécessaire à la transformation de l'acétylène en éthylène.

Aux chutes du Niagara, on obtient couramment le carbure de calcium au prix de 20 francs les 100 kil. Or, un kilogramme de carbure de calcium donne environ 340 à 345 litres d'acétylène, soit environ 400 gr.; d'après la théorie 26 kg. d'acétylène donnent 46 kg. d'alcool c'est à dire un peu plus de 57 litres d'alcool à 100° ou environ 63 litres d'alcool à 90°. 100 kg. de carbure produisent donc 97 litres d'alcool à 90°.

Comme à cause des valeurs des sous-produits, les frais de manipulation sont insignifiants, on voit, que dans les pays où l'on pourra produire le carbure de calcium à 20 francs les 100 kg, on aura l'alcool synthétique à 21 francs l'hectolitre.

Or ces pays sont l'Allemagne et l'Amérique, qui renferment des gisements considérables de carbonates de baryum et de strontium, tandis que la France ne contient en Auvergne et dans les Pyrénées que des gisements de sulfates de baryum et de strontium, dont la transformation en carbures, beaucoup plus difficile que celle des carbonates, deviendra difficilement industrielle.

Notre distillerie agricole se trouve donc, de ce côté, aussi sérieusement menacée que l'a été la culture de la garance par la découverte de l'alizarine, que l'est actuellement celle de l'indigo par la synthèse faite en Allemagne de ce produit.

Aussi, la Société des Agriculteurs du Nord s'est-elle émue et a-t-elle émis le vœu, pour se défendre contre l'alcool synthétique comme on le fait contre la saccharine, cet autre produit de la bouille, qu'un droit de douane de 50 francs par 100 kg. soit mis sur les carbures de provenance étrangère, pouvant servir à la fabrication de l'acétylène.

Nous terminerons cette étude en donnant un tableau de pouvoirs calorifiques empruntés en partie aux ouvrages de M^e Witt, en partie au travail que M^e Lecomte ⁽¹⁾ a présenté en 1900 au Congrès de l'Industrie du gaz, en partie à l'ouvrage de M^e L. Lécisné ⁽²⁾ sur les moteurs à alcool.

Les chiffres relatifs aux alcools carburés ont été calculés
1^o - par la formule ordinaire :

$$P = 8080 C + 29.000 \left(H - \frac{O}{8} \right)$$

dans laquelle C, H, O représentent les proportions centésimales du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène;

2^o - par les formules de Redtenbacher :

$$P = 7050 C + 34.500 H \quad (\text{Carbure non oxygéné}),$$

$$P' = 7050 C + 34.500 H - 650 \text{ Eau} \quad (\text{Carbure oxygéné}).$$

Tableau

(1) A. Lecomte - Contribution à l'étude des éclairages concurrents du gaz.

(Congrès international de l'industrie du gaz tenu à Paris en 1900. p. 694).

(2) L. Lécisné - Les moteurs à alcool.

(Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils - Juillet 1901).

	Composition chimique			Températures		Densité à 15°	Puissances calorifiques au Kilog.		Puissances calorifiques au litre		Puissances calorifiques déterminées par l'expérience au Kilogr.
	C en grammes	H en grammes	O en grammes	d'inflammation	d'ébullition		Les produits de la combustion sont:		Les produits de la combustion sont:		
							à 0°	à 100°	à 0°	à 100°	
Alcool éthylique pur C^2H^6O	520	130	350	+14°	78,4	0,795	7.170	6.372	5.690	5.060	7.042
Alcool éthylique 95°	496	129	375	"	"	0,810	"	6.086	"	4.929	6.400
— id. — 90°	470	128	402	"	"	0,833	6.170	5.381	5.140	4.480	5.900
Alcool méthylique pur C^2H^4O	375	125	500	"	66,5	0,814	"	4.451	"	3.623	5.500
Alcool méthylique 90°	338	124	538	"	"	0,820	"	3.956	"	3.243	5.400
Alcool déshydraté 90°	415	130	455	+18°	77,5	0,830	5.850	5.079	4.850	4.215	5.870
Benzol (C^6H^6)	923	77	"	"	"	0,885	10.090	9.565	8.930	8.460	"
Toluène (C^7H^8)	913	87	"	"	"	0,875	10.350	9.775	9.060	8.550	"
Xylène (C^8H^{10})	906	94	"	"	"	0,865	10.540	9.915	9.130	8.580	"
Alcool carboné 50%	670	103	227	0	"	0,860	"	7.145	"	6.144	"
Alcool carboné 75%	542	117	341	+3°,5	"	0,845	"	6.159	"	5.204	"
Essence de pétrole	843	157	"	-17°	"	0,680	12.168	11.210	8.260	7.620	11.086
Gas d'éclairage type de Paris. Rend. = 0,40 100 gr. d'air. au Kilogr. d'après M. A. Witt.	568,5	246	85,5	"	"	0,400	12.640	11.177	6.577	5.800	mitre cube 5.520

§ 3 - Étude de l'incandescence par les flammes.

Avant de décrire les divers systèmes employés pour l'éclairage à incandescence par l'alcool, il convient de faire une étude du problème de l'incandescence par les flammes afin d'en déduire les conditions dans lesquelles on doit construire une lampe à incandescence donnant la meilleure utilisation de la chaleur dégagée par la combustion de l'alcool.

Indiquons d'abord en quoi consiste le problème de l'éclairage par incandescence.

Preons un corps solide ou liquide et élevons sa température; nous ne tardons pas à voir ce solide ou ce liquide émettre des rayons lumineux; d'abord rouge sombre, puis rouge vif, il passe au blanc, puis au blanc éblouissant; ces dénominations entrées dans la pratique servent à certains ouvriers à repérer des températures comprises entre certaines limites.

La loi qui régit ces phénomènes a été énoncée par Kirchhoff en 1859⁽¹⁾; on peut l'exprimer de la manière suivante. Considérons un corps, comme le noir de fumée, qui n'est susceptible ni de réfléchir ni de diffuser la lumière et qui, par conséquent, absorbe en totalité toutes les radiations qui tombent sur lui; élevons la température de ce corps

(1) Annales de Poggendorff (1859) - Traduit dans les Annales de Chimie et de Physique. 3^{me} série - t. 62 - p. 160 (1861).

On lira avec fruit:

A. Cotton. - L'aspect actuel de la loi de Kirchhoff. (Revue Générale des Sciences - t. X - 1899 - p. 102).

Ch. Ed. Guillaume. - Les lois du rayonnement et la théorie des manchons à incandescence.

(Revue Générale des Sciences - t. XII - 1901 - p. 358).

Congrès International de Physique tenu à Paris en 1900. Rapports présentés par M. M. Wien, Sumner, Rubens - Tome II - p. 23, 41 et 144. [Paris - Gauthier-Villars].

et études, au moyen d'appareils convenables, le spectre de la lumière émise par lui.

Énoncé de la loi de Kirchhoff.

1^o - À une température déterminée, apparaît dans le spectre une radiation d'une couleur ou d'une longueur d'onde déterminée, radiation qui est caractéristique de la température à laquelle le corps est porté;

2^o - À mesure que la température s'élève, la radiation caractéristique a une longueur d'onde de plus en plus petite, c'est à dire que la couleur de cette radiation s'éloigne du rouge pour se rapprocher du violet;

3^o - À mesure que la température s'élève, le nombre des radiations émises et l'intensité de ces radiations vont en augmentant; la lumière émise par le corps est le résultat de la superposition d'un plus grand nombre de couleurs dont les intensités vont en croissant.

Rappelons la définition de quelques-uns des termes que nous venons d'employer.

Longueurs d'onde.

L'optique nous apprend que si nous recevons sur un spectroscope la lumière colorée émise par un corps, nous pouvons décomposer cette lumière en une série d'autres, à chacune desquelles nous pouvons faire correspondre un nombre caractéristique; ce nombre est ce que l'on appelle la longueur d'onde de la lumière d'une seule couleur ou monochromatique considérée. La longueur d'onde d'une lumière monochromatique va en diminuant du rouge au violet; voici les valeurs de quelques-unes de ces longueurs d'onde exprimées en microns (μ) ou en millièmes de millimètre:

Extrême rouge	0,760 ^{μ}	Jaune pur	0,550 ^{μ}
Rouge	0,645	Jaune vert	0,530
Rouge orangé	0,620	Violet pur	0,512
Orangé rouge	0,596	Vert bleu	0,500
Orangé pur	0,583	Violet pur	0,475
Jaune orangé	0,575	Bleu indigo	0,459

Indigo	0, ^μ 449		Violet	0, ^μ 423
Indigo violet	0,439		Extrême violet	0,390

Nous n'avons donné ici que la liste des longueurs d'onde relatives aux radiations visibles. Mais il existe des radiations invisibles dont la longueur d'onde est supérieure à 0,^μ760 et d'autres dont la longueur d'onde est inférieure à 0,^μ390. Les premières qui sont mises en évidence par les phénomènes calorifiques qu'elles produisent, par exemple par leur action sur un thermomètre, s'appellent Radiations Infra-Rouges; les autres, qui jouissent de propriétés chimiques très accentuées, dont nous pouvons déceler l'existence par l'impression de plaques photographiques et que nous faisons apparaître aux yeux au moyen de certains corps dits fluorescents, comme le platino-cyanure de baryum, ont reçu le nom de Radiations Ultra-Violettes.

Retour à l'énoncé de la loi de Kirchhoff.

D'après cela, on voit, d'après l'énoncé de Kirchhoff, que:

- 1^o - La température d'un corps, comme le noir de fumée, peut être exprimée au moyen des nombres que nous avons donnés plus haut comme correspondant à chaque couleur;
- 2^o - La température du noir de fumée s'élevant, ce corps émet d'abord des radiations infra-rouges auxquelles viennent successivement se superposer des radiations rouges, orangées, jaunes, vertes, bleues, violettes et enfin des radiations ultra-violettes;
- 3^o - L'intensité de chacune de ces radiations va en augmentant avec la température.

Les deux dernières parties de cet énoncé énoncent des phénomènes que l'on observe encore avec des corps différents du noir de fumée; mais pour ceux-ci, la longueur d'onde n'est pas caractéristique de la température à laquelle ils sont portés.

Les radiations visibles étant comprises entre les limites

$0^{\mu}760$ et $0^{\mu}390$, le noir de fumée devient lumineux à partir du moment où il est porté à une température suffisamment élevée pour émettre des radiations dont les longueurs d'onde sont comprises entre ces limites; d'autre part, pour obtenir une lumière d'une composition et d'une intensité déterminées, il faut porter le noir de fumée à une température convenable.

Quand il s'agit d'autres corps que le noir de fumée, le choix de la température n'est pas seul à considérer quand on veut obtenir une lumière de couleur et d'intensité déterminées; il faut tenir compte non seulement de la nature du corps, mais encore de celle des corps qui l'environnent. Toutefois une élévation convenable de la température du corps représente encore la condition qu'il est nécessaire de remplir pour réaliser la lumière que l'on se propose de produire.

On voit donc que l'on peut produire l'éclairage d'un espace en employant un corps solide ou liquide que l'on porte à l'incandescence en élevant sa température.

La solution de ce problème dépend, d'après ce que nous venons de dire, de la solution des deux suivants :

1^o - Quel est le corps dont on se propose d'élever la température?

2^o - Quelle est la source de chaleur qui va nous permettre de porter le corps précédent à la température convenable?

Limitons d'abord le problème en nous astreignant à n'employer qu'une flamme comme source de chaleur. Nous nous trouvons dès lors en présence de deux solutions caractéristiques.

Incandescence par les flammes. 1^o La flamme est produite soit par la combustion d'une partie du corps qui doit devenir lumineux, soit par la combustion des produits provenant de sa décomposition; cette flamme sert à élever la température de l'autre partie du corps qui, soit

par elle-même, soit par les corps provenant de sa décomposition, devient incandescente et émet de la lumière.

Ainsi dans la bougie, c'est la chaleur développée par la combustion de la flamme qui transforme l'acide stéarique solide en un liquide; ce liquide, à son tour se vaporise dans la mèche; enfin la flamme décompose cette vapeur en gaz éclairants qui entretiennent la combustion.

Le gaz d'éclairage est un véritable brouillard de particules excessivement petites de carbures d'hydrogène solides et liquides nageant dans un gaz formé principalement de méthane et d'hydrogène. Si on brûle ce mélange en présence d'une quantité insuffisante d'air (à l'extrémité d'un bec Bunsen dont la visée est tournée de manière à fermer complètement les trous d'arrivée de l'air), une partie seulement des hydrocarbures (acétylène, éthylène, ...) brûle; l'autre partie est décomposée en acétylène et en carbone qui sont portés à l'incandescence. Dans des conditions déterminées de pression du gaz, d'arrivée d'air, le pouvoir éclairant d'un gaz dépend de sa composition c'est à dire de la quantité d'hydrocarbures qu'il contient. De là la préoccupation d'employer pour la fabrication du gaz d'éclairage un charbon déterminé que l'on distille dans de petites cornues à courte période de gazéification, c'est à dire vidées toutes les quatre à six heures, la distillation dans de grands récipients et une longue période de gazéification, détériorant les carbures lourds et amoindrissant le pouvoir éclairant du gaz.

A cette première solution du problème de l'éclairage par flamme que nous pouvons désigner sous le nom de Eclairage par flamme Auto-Incandescente, nous pouvons opposer l'Eclairage par incandescence proprement dit.

Eclairage à incandescence 2^e - Les matières combustibles telles que le gaz, les vapeurs proprement dit. d'essence, de pétrole ou d'alcool, l'acétylène, etc... sont brûlées par un bec à mélange d'air dans les conditions qui donnent

sans lumière, la température la plus élevée; cette chaleur dégagée est ensuite utilisée pour porter à l'incandescence une matière réfractaire finement pulvérisée et convenablement choisie.⁽¹⁾

Nous sommes donc amenés à étudier :

Flamme non éclairante a) - les conditions que l'on doit remplir pour obtenir une
mais chaude. flamme non éclairante, suffisamment chaude;

Corps incandescents. b) - la nature des corps que l'on doit porter à l'incandescence.

Conditions à réaliser pour obtenir une bonne combustion et de très hautes températures. On peut définir de la manière suivante les conditions à réaliser pour obtenir une combustion aussi parfaite que possible et de très hautes températures.

(1) Il convient de remarquer l'importance qu'a, au point de vue de l'industrie du gaz, la vogue des becs à incandescence et l'emploi du gaz non éclairant pour le chauffage et l'éclairage. En effet, pour estimer la qualité du gaz, on ne peut plus prendre pour base la mesure photométrique de l'intensité lumineuse d'un brûleur à fente ou à couronne; c'est la chaleur de combustion qui joue désormais le rôle principal.

En s'émancipant des déterminations surannées du pouvoir éclairant du gaz au moyen de brûleurs à papillon ou à fente, l'industrie du gaz acquiert, dans le choix des matériaux et dans les méthodes de préparation du gaz, une liberté de mouvement qui a la plus haute importance tant pour son propre développement futur que pour l'alimentation des villes en lumière, chaleur et force motrice au moyen de combustibles gazeux.

Dans ces conditions, la production du gaz n'est plus réduite à l'emploi d'un charbon déterminé qu'on ne peut se procurer qu'insuffisamment, même à de hauts prix. Le choix des matériaux s'élargit et la préparation est notablement facilitée. On n'est plus lié, dans la production du gaz, à la distillation pénible et coûteuse dans de petites cornues avec courtes périodes de gazéification; mais, selon l'importance de l'exploitation, on peut employer de grandes chambres (comme dans les fours à coke) dont le service, par des moyens mécaniques, est moins considérable et moins cher.

Sur l'Incandescence par le gaz, par H. Bunte. (Congrès International de l'industrie du gaz, tenu à Paris en 1900 - p. 181).

α) - Il faut, d'une manière aussi exacte que possible, mettre en présence les quantités du gaz et de l'air qui sont nécessaires à une bonne combustion; s'il y a insuffisance d'air, la combustion est incomplète et du noir de fumée peut se déposer sur le corps solide que l'on doit porter à l'incandescence; s'il y a excès d'air, une partie de la chaleur de combustion est employée, à échauffer l'air en excès, ce qui abaisse la température de la flamme.

β) - Il faut, avant la combustion, réaliser un mélange aussi intime que possible du gaz et de l'air.

Après avoir mis en présence les quantités exactes nécessaires à une bonne combustion, il convient de faire subir au mélange des chocs, des laminages, des frottements multipliés, par passage des gaz à travers des chambres garnies de toiles métalliques à mailles fines et comportant des chicanes. Ce brassage doit être effectué, autant que possible au niveau de consommation, c'est à dire aussi près que possible du brûleur afin d'éviter une séparation ultérieure des gaz par différences de densité. ⁽¹⁾

γ) - Il faut que la flamme soit refroidie aussi peu que possible par le milieu ambiant; il faut donc qu'elle ait le plus petit volume compatible avec l'application que l'on veut en faire.

On arrive à ce résultat en augmentant la pression soit du gaz soit de l'air. ⁽²⁾

⁽¹⁾ C'est sur ce principe que sont fondées les lampes à éclairage intérieur de Denayrouse, de Brandsept, St Paul, etc..
Pour la description de ces lampes, voir L. Truchot - L'Éclairage à Incandescence - p. 164 à 184.

⁽²⁾ Pour assurer en 1900 l'éclairage à incandescence des parcs du Champ-de-Mars et du Trocadéro, la Comp.^{ie} parisienne du Gaz employa du gaz sous une pression de 200^{mm} d'eau alors que la pression ordinaire ne dépasse pas 100^{mm} d'eau. On obtint ainsi la carcel-heure avec 9^{lit.} 5 au lieu de la dépense de 12 litres nécessitée par les becs à moyenne ou à basse pression.

D'ailleurs, dans les bcs où le gaz sort d'un ajutage conique à la hauteur duquel se trouvent deux trous d'entrée d'air (bec Bunsen ordinaire), l'augmentation de la pression du gaz ayant pour effet d'augmenter la vitesse avec laquelle le gaz sort de l'ajutage facilite l'entraînement de l'air nécessaire à la combustion. ⁽¹⁾

5) - Enfin, toutes choses égales d'ailleurs, on élève la température d'une flamme, soit en employant un gaz ou une vapeur dont la chaleur de combustion est élevée, soit en échauffant l'air nécessaire à la combustion.

Il convient toutefois de remarquer qu'il serait inutile et même nuisible de chercher à obtenir des températures extrêmement élevées

(1) Dans un bec Bunsen, lorsqu'il n'y a pas admission d'air, la flamme est longue, molle, éclairante et dense du noir de fumée sur les corps froids qui y sont plongés. Au contraire, lorsque la vitole est tournée de manière qu'il y ait admission d'air, la flamme est très chaude, plus courte et n'est plus lumineuse.

L'aspect caractéristique de la flamme du Bunsen, varie suivant la quantité d'air admise. Dans des conditions normales, la zone intérieure de la flamme est bleu violacé; mais si on augmente l'admission d'air la flamme devient plus chaude et la zone intérieure prend une coloration verte. A ces changements de coloration correspondent des variations de température des différentes parties de la flamme. Voici, quelles sont les températures approximatives pour les flammes du Bunsen avec cône bleu ou verdâtre.

	Cône bleu	Cône verdâtre
Pointe du cône intérieur _____	1090	1575
Centre du cône extérieur _____	1533	1630
Pointe du cône extérieur _____	1175	1545
Bords du cône extérieur au niveau de la pointe du cône int ^{er} _____	1333	1511

Pour une combustion non lumineuse, le rapport entre les quantités de gaz est, dans le cône bleu, d'environ 1 volume de gaz pour 2,27 volumes d'air, et, dans le cône vert, 1 volume de gaz pour 3,37 volumes d'air.

c'est, à dire, dépassant 2000°. En effet, l'élevation de température conduit à deux effets simultanés dans la lumière émise par le corps incandescent chauffé dans la flamme ; il y a :

- 1° - production de radiations de plus en plus réfrangibles ;
- 2° - augmentation d'intensité des radiations déjà existantes.

On produit donc, au-delà d'une certaine température, des radiations ultra-violettes inutiles et même très nuisibles, au point de vue physiologique.

En effet, à la longue, les rayons violets et ultra-violettes produisent une destruction partielle des fibres du cristallin. En grande quantité, ils donnent lieu à de l'érythème et à tous les symptômes qui caractérisent le coup de soleil. D'autre part, il ne faut pas que la lumière artificielle soit trop riche en rayons jaunes qui détruiraient temporairement l'érythroopsine (pourpre rétinien) et amèneraient une fatigue du nerf optique qui devrait se reposer jusqu'à régénération de l'érythroopsine. Cette destruction et cette régénération sont une des conséquences naturelles du phénomène de la vision, mais sont exaltées sous l'influence des rayons jaunes :

La meilleure lumière artificielle, c'est, à dire celle qui se rapproche le plus de la lumière solaire, contient le minimum de radiations violettes, une proportion normale de rayons jaunes et juste assez de rayons rouges pour communiquer aux objets une teinte chaude et agréable à l'œil.

Ces considérations nous amènent naturellement à rechercher quelles doivent être les propriétés des corps incandescents employés dans l'éclairage.

Corps incandescent.

Les corps qui sont portés à l'incandescence doivent présenter un ensemble de propriétés que nous pouvons résumer de la manière suivante.

α₁). - Les corps doivent présenter la plus grande surface possible à

la flamme du brûleur dans lequel ils sont introduits de telle manière qu'ils s'échauffent facilement dans toute leur épaisseur.

(β_2) - Leur fragilité ne doit pas augmenter par suite ^{des} réchauffements et des refroidissements auxquels ils sont soumis.

Cette seconde condition est d'ailleurs corrélatrice de la première, un corps se désagrégant d'autant plus vite qu'il est plus susceptible d'être inégalement chauffé dans toute sa masse.

(γ_1) - Leur pouvoir éclairant doit, avec l'usage, rester aussi constant que possible.

(δ_1) - Enfin ils doivent être choisis d'une nature telle et placés dans des conditions de température choisies de telle sorte qu'ils émettent une lumière blanche dont la composition se rapproche de celle de la lumière désignée sous le nom de lumière du jour, c'est à dire une lumière contenant peu de rayons violets, une proportion normale de rayons jaunes et juste assez de rayons rouges pour donner aux objets une teinte chaude agréable à l'œil.

Les conditions (α_1) et (β_1) conduisent à rejeter les anciens procédés d'éclairage par incandescence dans lesquels on employait des corps de masses trop grandes qui ne pouvaient être chauffés que superficiellement et qui, étant mauvais conducteurs de la chaleur, ne pouvaient que très difficilement être amenés en totalité à une haute température.

Le premier de ces procédés est celui de Drummond qui, en 1826, eut l'idée de chauffer jusqu'à l'incandescence, à l'aide d'un mélange gazeux d'oxygène et d'hydrogène, un fragment de chaux. Ce genre d'éclairage, connu sous le nom de lumière Drummond, est encore très répandue pour les applications aux lanternes à projection. En 1867, Esnèpe du Cléty et Maréchal proposèrent pour remplacer la chaux de la lumière Drummond, des crayons cylindriques ou coniques formés d'un aggloméré de magnésie, de chaux ou de stéatite et de charbon ;

en 1868, Tessié du Motay employa la zircon, ou un mélange de zircon et de chaux ou de magnésie.

Emploi des corps incandescents sous forme de corbeilles ou de cônes. A cette époque (1868), plusieurs inventeurs, abandonnant le système oxyhydrique, à double canalisation, tentèrent d'appliquer le brûleur de Bunsen à l'éclairage par incandescence. Mais ce n'est qu'à partir de 1880 que, reprenant une idée émise par Frankenstein de Gratz en 1849⁽¹⁾, on songea à réduire la masse du corps mauvais conducteur qui devait devenir incandescent, pour employer cette matière sous forme de cône ou de corbeille constituée par un treillis formé de mailles étroites et fines. Ce mode de construction fut utilisé par Charles Clamond en 1881⁽²⁾, par J. Stocks William de Riverton (New-Jersey) en 1882, par Fakhryhem en 1883, par Hirschfeld en 1893 et surtout par Auer von Welsbach dont les manchons sont aujourd'hui si répandus.

Emploi du platine A la place des matières réfractaires, on avait songé depuis longtemps à employer comme corps incandescent un métal qui est en général peu altérable, le platine ou le platine iridié. Gillard

(1) C'est Frankenstein qui, le premier, appliqua le principe de l'incandescence à accroître le pouvoir éclairant des lampes d'Argand. Le corps incandescent qu'il employait et qu'il nommait multiplicateur de lumière, consistait en une carcasse conique creuse, établie avec un tissu lâche (tulle, gaze) enduit d'une bouillie de chaux ou de magnésie mélangée à de la gomme arabique.

(2) Les fils qui constituent la corbeille du bec Clamond sont obtenus en formant une pâte plastique au moyen d'un mélange de magnésie calcinée en poudre et d'acétate de magnésie, qu'on fait passer ensuite par pression dans une filière, ce qui produit des fils et des tubes creux. Ces fils sont ensuite enroulés autour d'un mandrin conique; et, comme ils sont plastiques, ils se collent sur les points de contact des deux rangées de spires; par la calcination, on obtient ainsi un véritable grillage formé de fils de magnésie. La corbeille de magnésie est supportée par une corbeille en fil de platine ou en tout autre métal réfractaire, à larges mailles et de même forme. Pour donner aux corbeilles une plus grande durée et un éclat plus doré, M^r Clamond a conseillé d'ajouter une certaine proportion de zircon.

en 1848, Lewis en 1850, Lopp en 1882 tentèrent d'employer des cônes en fil de platine tissés sous forme de gaze fine qu'ils chauffaient dans la flamme d'un bec Bunsen. Malheureusement, au bout de très peu de temps, le platine chauffé, au contact des gaz carbonés, devenait extrêmement friable et perdait toute solidité.

Emploi des oxydes réfractaires comme corps incandescents. Les oxydes métalliques ou les mélanges d'oxydes réfractaires sont donc les seuls corps qui peuvent être employés dans l'incandescence

Ces corps incandescents sont, aujourd'hui obtenus par imprégnation d'un tissu, de coton à l'aide de solutions de sels d'oxydes réfractaires⁽¹⁾ et calcination du tissu après dessiccation préalable. On donne le nom de manchons à ces treillis qui affectent la forme d'un cône de cône.

Ces manchons peuvent se diviser en :

- 1^o - Manchons formés d'un squelette d'oxydes rares (thorium, zircon, oxyde de cérium,);
- 2^o - Manchons formés d'un squelette d'oxydes communs (alumine, chaux, magnésie, oxyde de chrome).

Parmi ceux de la première classe se trouvent les manchons ouer, à base d'oxyde de thorium et d'oxyde de cérium.

Les manchons de la Sunlight Co, à base d'alumine et d'oxyde de chrome, font partie de la 2^e classe; ces derniers manchons sont beaucoup plus en faveur en Angleterre qu'en France.

⁽¹⁾ En général, l'emploi des nitrates est préférable à celui des chlorures et des sulfates, l'incinération se faisant beaucoup plus facilement. Un manchon, imprégné de chlorure d'aluminium, par exemple, sera beaucoup plus difficile à incinérer et il aura des tendances à se tordre sur lui-même. La forme du manchon obtenu ne sera pas régulièrement conique, et par suite, l'éclairage obtenu sera défectueux. Les nitrates, en se décomposant, dégagent des oxydes, de l'azote et de l'oxygène, ce qui active beaucoup la décomposition et l'incinération de la matière organique employée comme support.

ce) Le minéral qui est actuellement la principale source de l'industrie des oxydes de terres rares employés dans les manchons incandescents est la monazite. La monazite est essentiellement un phosphate anhydre de cérium, lanthane et didyme qui contient toujours, ce qui en fait la valeur au point de vue qui nous occupe, de l'oxyde de thorium. Ce minéral qui était encore, il y a quelques années, considéré comme extrêmement rare, est devenu relativement commun, grâce à la découverte de gisements de sables monazités tellement puissants, que l'industrie de l'éclairage à incandescence peut se développer sans crainte de manquer de matière première. Ces sables qui ont la couleur de l'or se trouvent dans les terrains aurifères de l'Oréal, du Brésil, de l'Australie, de l'Amérique du Nord. ⁽¹⁾

Les divers oxydes de terres rares retirés de ces sables ne sont pas tous aptes à être employés comme corps incandescents. Nous avons, en effet, indiqué plus haut que le corps en question devrait pouvoir émettre une certaine lumière blanche ⁽²⁾. Il

1) L'étude détaillée des minéraux employés dans la fabrication des manchons incandescents se trouve dans les ouvrages suivants :

L. Truchot - L'Éclairage à Incandescence - Chap. III - p. 86 (Paris - Carré et Naud).

L. Truchot - Les Terres Rares. 1^{re} partie - (Paris - Carré et Naud).

2) D'après Helmholtz, les groupements suivants permettent d'obtenir un blanc plus ou moins pur : -

	Intensité des deux couleurs	
Violet et jaune verdâtre	5	10
Indigo et jaune	3	4
Bleu et orange	1	1
Bleu verdâtre et rouge	0,44	0,44

On voit que pour obtenir un noyau incandescent, fournissant de la lumière blanche, il faudra associer les oxydes donnant des couleurs complémentaires. Ces groupements ne peuvent se faire que par

convient donc de grouper ensemble certains oxydes dans des proportions convenables. Divers modes d'association ont été proposés; la formule à l'aide de laquelle sont obtenus les manchons Auer actuel est la suivante.

98,75 à 99 pour cent d'oxyde de thorium,

1,25 à 1 — id. — d'oxyde de cérium.

Ce corps incandescent fournit une très belle lumière blanche légèrement dorée (1)

On a émis un très grand nombre d'hypothèses sur les causes de l'incandescence spéciale que présentent les manchons Auer. Nous n'indiquerons pas ici toutes ces hypothèses (2) qui sont très bien exposées dans l'ouvrage de M. L. Truchot sur l'Eclairage à incandescence.

Théories données par MM. Le Chatelier et Boudouard de l'incandescence des manchons Auer.

Nous relaterons seulement la théorie admise aujourd'hui depuis les expériences de M. H. Le Chatelier et O. Boudouard.

Le grand éclat des manchons est dû principalement à la haute température que ces corps prennent dans la flamme. Si, en effet, celle-ci est bien entaillée

(Suite du renvoi de la page précédente)

une série de tâtonnements. Voici, d'après Auer, quelques formules de mélanges, permettant d'obtenir des lumières de diverses colorations.

Lumière blanche	$\left\{ \begin{array}{l} 60 \text{ pour } 100 \text{ de magnésie,} \\ 20 \text{ — id. — d'oxyde de lanthane,} \\ 20 \text{ — id. — d'oxyde d'yttrium.} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 60 \text{ pour cent d'oxyde de zirconium,} \\ 30 \text{ — id. — d'oxyde de lanthane,} \\ 10 \text{ — id. — d'oxyde d'yttrium.} \end{array} \right.$			
			Lumière jaune	$\left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ pour } 100 \text{ d'oxyde de thorium,} \\ 30 \text{ — id. — d'oxyde de zirconium,} \\ 40 \text{ — id. — d'oxyde d'yttrium.} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 50 \text{ pour } 100 \text{ d'oxyde de thorium,} \\ 50 \text{ — id. — d'oxyde de lanthane.} \end{array} \right.$

(1) Fabrication des manchons Auer. — Voir L. Truchot. L'Eclairage à incandescence — Chap. IV — p. 121.

(2) L. Truchot. — L'Eclairage à incandescence. — p. 26.

H. Bunte. — Les progrès récents de l'éclairage par les flammes. (Revue Générale des sciences — t. IX — 1898 — p. 456).

Ch. Ed. Guillaume. — Les lois du rayonnement et la théorie des manchons à incandescence (Revue G^{né} des sciences — t. XII — 1901 — p. 422).

par le manchon, dont elle têche les bords intérieurs, elle se trouve protégée contre le rayonnement et contre l'afflux latéral de l'air qui tendent à la refroidir. Dans ces conditions, cette flamme est donc probablement plus chaude que lorsqu'elle n'est pas entourée par un manchon. D'autre part, le rayonnement de chaque brin ne se produit que sur une demi-sphère, les autres directions étant protégées par le reste du manchon. Enfin il résulte des expériences de M. Le Chatelier et Bonduard, que le manchon, si on le compare à d'autres corps comme le platine, émet relativement peu de rayons infra-rouges; le refroidissement par des radiations qui sont inutiles pour l'éclairage est donc beaucoup moins important que pour le platine.

Le manchon à incandescence doit épouser le mieux possible la forme extérieure de la flamme.

Nous venons de voir que, dans l'emploi des manchons pour l'incandescence, il y a intérêt à ce que le manchon employé épouse le mieux possible la forme extérieure de la flamme. Il y a là un point sur lequel il convient d'attirer l'attention.

Un manchon de forme quelconque ne convient pas à tous les bcs à incandescence; il ne faut employer avec un bec de forme déterminée que le manchon fait pour ce bec. En effet, la constitution de la flamme dépend essentiellement de la nature du bec qui lui a donné naissance et nous venons de voir que la forme du manchon doit être réglée sur celle de la flamme.

La surface du manchon doit émettre uniformément de la lumière.

D'autre part, ce choix de la forme du manchon n'est pas seulement imposé par la nécessité d'élever la température de la flamme et par suite celle du manchon, mais encore par celle de tenir compte des propriétés de l'œil. Mettons en effet l'œil en présence d'un point lumineux éblouissant ou en présence d'une source lumineuse moins intense mais de surface sensible; nous verrons qu'il préférera souvent la seconde source à la première. C'est qu'en effet l'œil n'est pas un instrument de mesure absolu, mais relatif; il suit des contrastes mais non des quantités

absolues; si le contraste entre l'impression fournie par la source lumineuse et les objets voisins est trop violent, il trouvera ces objets mal éclairés et sera peu satisfait. D'où la nécessité d'avoir un manchon qui ne présente pas de plages obscures contiguës à des plages lumineuses, qui éclaire aussi uniformément que possible par toute sa surface, résultat qui ne peut être obtenu avec une flamme ^{à l'année} qui avec une forme de manchon déterminée, par la condition que nous avons indiquée plus haut.

Enfin une dernière remarque est ici nécessaire. Il ne faut pas que le constructeur, par une économie mal entendue, livre des manchons insuffisamment calcinés; en effet, ces manchons se déforment, se contractent irrégulièrement, et jusqu'à ce que la chaleur de la flamme les ait ramenés, ce qui arrive quelquefois, à la forme voulue, on a peu d'éclairage ou un éclairage limité à quelques régions et, par suite, désagréable à l'œil en raison des contrastes. ⁽¹⁾

Il nous reste, pour terminer cette étude de l'incandescence, à répondre à la question suivante:

Variation du pouvoir éclairant d'un manchon Auer. Que fournit à diverses époques un manchon incandescent, de constitution moyenne, dans les conditions normales?

Il résulte d'expériences faites au Bureau impérial physico-technique de Charlottenbourg (Physikalisch-Technischen Reichsanstalt), que l'on peut énoncer la proposition suivante: ⁽²⁾

Un manchon soigneusement calciné, donne à une pression de gaz d'environ $30 \frac{m}{m}$ d'eau et pendant 300 heures de combustion

(1) E. Sozel - Exposé des progrès techniques réalisés dans les appareils utilisant l'alcool pour l'éclairage, le chauffage et la force motrice.

(Congrès des Emplois Industriels de l'Alcool - 18 Nov^{bre} 1901 - Société des Agriculteurs de France).

(2) Avec la collaboration de M. M. Dreohomidt (Berlin), Keuss et Leybold (Hambourg), Schaefer (Dessau), Bunte (Carlsruhe).

une intensité moyenne de 7 carcel ou 70 bougies, avec une consommation de 120 litres par heure ou de 17 litres par carcel-heure. Au début, l'intensité lumineuse dépasse le plus souvent 8 carcel ou 80 bougies; après 300 heures de combustion, elle est au moins égale à 6 carcel ou 60 bougies et, après un assez long emploi, ne redescend plus guère.

En voit qu'en somme, on constate seulement une diminution de pouvoir éclairant qui oscille entre 12 et 20%.

L'incandescence par l'alcool et les hydrocarbures liquides. L'étude que nous venons de faire des propriétés des flammes et des corps incandescents va nous permettre d'établir la théorie de l'incandescence par hydrocarbures liquides.

Comme exemple, prenons l'alcool.

Pour résoudre le problème de l'incandescence par l'alcool, il convient d'abord de le réduire en vapeur avant son entrée dans la flamme.

En second lieu, il faut brûler cette vapeur dans les meilleures conditions possibles pour obtenir une flamme suffisamment chaude.

Il faut donc mélanger de l'air à la vapeur d'alcool avant son entrée dans la flamme, de manière à produire une flamme très chaude sous le plus petit volume possible.

Prenons une lampe à alcool ordinaire; la flamme est molle et volumineuse. Si nous plaçons un manchon incandescent sur la flamme, ce manchon n'émet pas une lumière bien vive. Mais si, retirant le manchon, nous insufflons de l'air avec un chalumeau de minéralogiste et que nous dirigeons le dard de la flamme ainsi obtenue sur le manchon, nous remarquerons que la paroi du manchon frappée par le dard de la flamme émet une lumière tellement vive que l'œil a de la peine à la supporter.

La flamme molle de la lampe à alcool ne produit pas un

grand effet sur le manchon parce qu'elle est trop étendue, trop refroidie par l'air extérieur et qu'elle n'est pas complètement maintenue à l'intérieur du manchon; au contraire, la même flamme avec insufflation d'air, courte et de petit volume, ayant la plus petite surface de contact avec l'atmosphère, produit sur le manchon un excellent effet éclairant.

Tous les becs à incandescence par l'alcool sont donc établis dans le but de transformer l'alcool en vapeur, en gaz et de mélanger ce gaz avec une forte proportion d'air avant son entrée dans la flamme.

D'autre part, l'alcool dénaturé à 90° nécessite, par mètre cube de vapeur d'alcool, environ 11 m. cubes d'air tandis que un mètre cube de gaz d'éclairage ne nécessite que 5,6 m.³ d'air.

Ces chiffres font comprendre la nécessité de surchauffer fortement la vapeur d'alcool et de lui communiquer une pression suffisante pour qu'en sortant de l'ajutage conique d'un bec Bunsen, cette vapeur puisse entraîner 11 volumes d'air et arriver dans la flamme encore à l'état de vapeur, malgré son mélange avec un poids considérable d'air.

D'après certaines expériences faites par M^r A. Secombe, on peut admettre que la température de la vapeur combustible, au sortir de l'éjecteur (ajutage conique du Bunsen) doit être, à peu près le double de la température normale d'ébullition du liquide d'où provient la vapeur, soit environ 160° pour l'alcool, l'alcool mélangé de benzine et l'essence minérale.

Nous avons maintenant la raison pour laquelle il est si difficile de faire de l'incandescence avec le pétrole lampant.

Si on vaporise le pétrole pour le transformer en gaz avant son entrée dans la flamme, on est obligé, suivant ce que nous avons dit plus haut, de surchauffer sa vapeur et cela d'autant plus fortement qu'il faut 15 kg. d'air pour la combustion complète d'un kg. de vapeur

de pétrole.

La température de distillation du pétrole lampant étant en moyenne de 180° à 200°, la vapeur devra avoir une température d'au moins 400° avant son mélange avec l'air. Or cette condition est impossible à réaliser parce que, à cette température, le pétrole subit une décomposition que les distillateurs nomment « cracking ».

Par le cracking, une partie des carbures supérieurs se transforme en carbures plus hydrogénés en abandonnant du carbone. Ce carbone ou graphite obtenu très rapidement les vaporisateurs des lampes.

On a tourné la difficulté en vaporisant seulement à 200° ou 250° mais en donnant à la vapeur une pression énorme obtenue en comprimant le pétrole à 4 ou 5 atmosphères.

Le cracking existe aussi pour l'alcool ; mais comme la décomposition ne commence que vers 300° (formation d'éthylène C^2H^4 qui se change en méthane CH^4 avec abandon de carbone), il y a entre cette température et la température de 160° à laquelle on doit surchauffer l'alcool, une différence suffisante pour que ce corps puisse être employé pour l'éclairage à incandescence).

En résumé un appareil qui utilise l'alcool pour l'incandescence doit comprendre :

- 1° - un réservoir d'alcool liquide ;
- 2° - une chaudière dans laquelle l'alcool est d'abord gazéifié puis surchauffé ;
- 3° - un bec dans lequel se produit le mélange d'air et de vapeur d'alcool qui est convenable pour une bonne combustion.

Tableau

Caractéristiques de quelques lampes et réchauds utilisant l'alcool.

Lampes :	Nature de l'éclairage	Nature du liquide employé	Mode d'alimentation de la chaudière de gazéification.	Mode de chauffage de la chaudière de gazéification.
Empagnac générale de l'Alcool. Soc. Millis	Domestique	Alcool dénaturé	Capillarité des mèches	Récupération
Decamps	id.	id.	id.	id.
De la Motte. Bec Monod.	Vie publique	id.	id.	Au-dessus de la flamme
Kante	id.	id.	Pression artificielle extérieure	Récupération
Lardi	Domestique	Alcool carburé	id.	id.
L'empirel et Simpson. Bec Simplex	id.	Alcool dénaturé	Capillarité des mèches	Dans la flamme
Société Continentale. Bec Préféré.	id.	id.	id.	Veilleuse permanente
id.	id.	id.	id.	Dans la flamme
Société Denayrouse (Bec sans pression)	id.	id.	Pression artificielle sur réservoir	Récupération
id.	Vie publique	Alcool dénaturé ou carburé	Capillarité des mèches	Au-dessus de la flamme
id.	Domestique	Alcool carburé	Pression artificielle ^{ou extérieure}	Récupération
Société Washington. Bec Washington.	Vie publique	Alcool dénaturé ou carburé	Capillarité des mèches	Récupération
id.	id.	id.	Pression extérieure	Au-dessus de la flamme
Société Regina.	Domestique	Alcool dénaturé.	id.	id.
id.	id.	id.	Capillarité des mèches.	Veilleuse permanente
Régner.	Domestique	Alcool dénaturé	Bec descendant	Dans la flamme
Empagnac générale de l'Alcool	id.	id.	id.	id.
Decamps.	id.	id.	Capillarité des mèches.	Récupération.
Fouilloud.	Seres, Paris, etc.	Alcool carburé	Pression extérieure	id.
L'industriel	Domestique	Alcool dénaturé	Bec descendant	Flamme dérivée
Société Continentale Nouvelle	id.	id.	id.	Dans la flamme
Société Denayrouse	Laboratoires	Alcool carburé	id.	Flamme dérivée
Société Lolo.	Domestique	Alcool dénaturé.	Capillarité des mèches	Récupération
				Flamme dérivée.

§^o4 - L'éclairage et le chauffage par l'alcool.

Dans le paragraphe précédent, nous avons indiqué les conditions dans lesquelles se pose le problème de l'éclairage par l'alcool. Voyons maintenant, quelles solutions ce problème a reçues dans la pratique.

Comme nous l'avons dit, l'alcool doit être gazéifié et surchauffé dans une petite chaudière.

Or, il faut amener l'alcool dans cette chaudière. En général, c'est par ascensum, que l'on obtient cette alimentation. L'alcool est :

- a) - ou bien aspiré par la capillarité de mèches de coton ;
- a') - ou bien poussé vers la chaudière par une pression intérieure.

Dans ce dernier cas, cette pression peut être produite soit par l'échauffement des parties métalliques de la lampe et par conséquent par la dilatation de l'air contenu dans le réservoir ; soit, par une pompe placée sur la lampe ou sur un réservoir extérieur relié à la lampe par une tuyauterie métallique.

L'alimentation de la chaudière peut être obtenue également par l'écoulement de l'alcool, placé en charge à quelques centimètres au-dessus de la chaudière ; l'alimentation, dans ce cas, a lieu par descensum.

L'alcool est dans la chaudière, il s'agit de l'y vaporiser et de l'y surchauffer. Pour cela, on peut employer divers systèmes.

b) - ou bien on peut, pendant toute la durée de l'allumage, chauffer la chaudière par une veilleuse permanente ;

b') - ou bien on peut la chauffer par une flamme dérivée de la flamme générale ou par la flamme elle-même ;

b'') - ou enfin on peut la chauffer par une tige métallique récupératrice de la chaleur, c'est à dire par conductibilité.

L'alcool volatilisé, gazéifié, en pression dans la chaudière, sort

avec violence par un injecteur et entre dans un bec Bunsen entraînant avec lui l'air nécessaire à sa combustion.

Il brûle avec une flamme bleue, une flamme extrêmement chaude que l'on surmonte d'un manchon auer pour la transformer en flamme éclairante.

Les lampes et les réchauds sont donc un seul et même appareil, interposer un manchon, vous avez une lampe; supprimez le manchon, vous avez un réchaud. Il existe en effet des réchauds et des poêles dans lesquels la chaleur est produite par un bec de lampe sans manchon; il en est ainsi des poêles alimentés par les Becs Préférés ou les Becs 1900 construits par la Société la Continentale Nouvelle, les becs Denayrou, etc. Nous allons d'abord nous occuper des lampes.

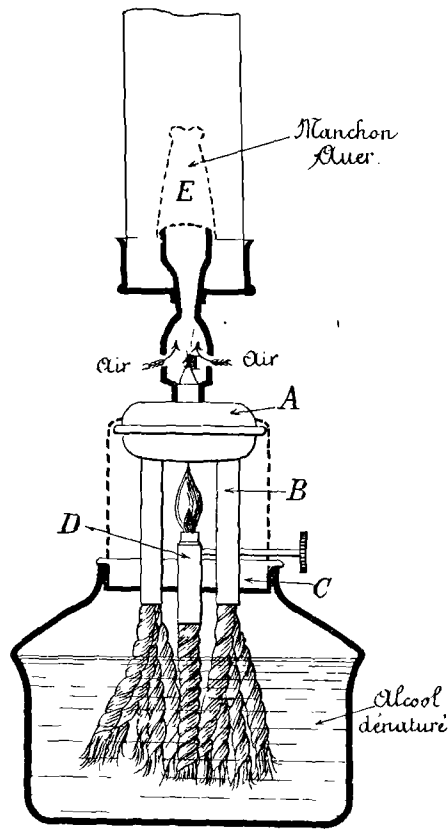
Comme nous venons de le voir, les diverses lampes peuvent rentrer dans les types que l'on peut caractériser de la manière suivante:

A - Mode d'alimentation du gazéificateur	{	a) - par mèches,
		a') - par pression.
B - Mode de chauffage	— id. —	b) - par veilleuse,
		b') - par chaleur perdue,
		b'') - par conductibilité.

D'où six types possibles.

Combinaison a) b). Cette lampe se compose en principe d'une petite chaudière A Lampe à mèche avec dans laquelle débouchent des mèches⁽¹⁾ contenues dans des tubes B et flamme de vaporisation amenant l'alcool dénaturé. Une bague fileté C, qui permet de visser le bec sur les lampes, porte un petit brûleur D, avec une mèche qu'on peut monter ou descendre à volonté, de manière à régler la vaporisation.

(1) Ces mèches doivent être très serrées surtout à leur partie supérieure, de façon à éviter que la pression dans la chaudière ne fasse refluer l'alcool dans le réservoir de la lampe.



Lampe à mèche avec
flamme de vaporisation.

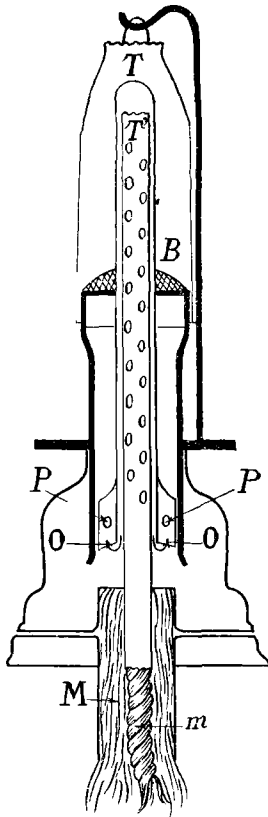
Au-dessus de la petite chaudière, on vise un brûleur à incandescence du même modèle que ceux utilisés pour le gaz. L'alcool gazeux sort violemment par l'injecteur I, entraîne l'air nécessaire à sa combustion et vient brûler à l'extrémité E du bec au contact d'un manchon Auver. L'allumage s'exécute en deux fois; on allume tout d'abord la veilleuse; une minute après, on présente l'allumette à la partie supérieure du verre qui entoure le bec et l'on enflamme le gaz d'alcool comme on enflammerait du gaz ordinaire.

A ce type appartiennent le Bec Liégeois (Société Continentale Nouvelle); le bec de la Société des Lampes Regina; la lampe Olaur et la lampe Mosmann; la lampe l'Aiglon, etc....

On reproche à ces lampes leur double allumage à une minute de distance; la dépense d'une partie de l'alcool pour vaporiser l'autre partie; les oscillations de la flamme de la veilleuse par les courants d'air. Toutes ces accusations semblent exagérées, du moins à la condition que l'on ait soin de bien régler la hauteur de la veilleuse, sinon il y a un filage qui, pour ne pas produire de fumée, n'en consomme pas moins du combustible en pure perte.

Combinaison a) b).
Lampe à mèche avec
vaporisation dans la flamme.

Au lieu d'être gazéifié par une flamme spéciale, l'alcool peut l'être dans la flamme elle-même. Parmi les appareils

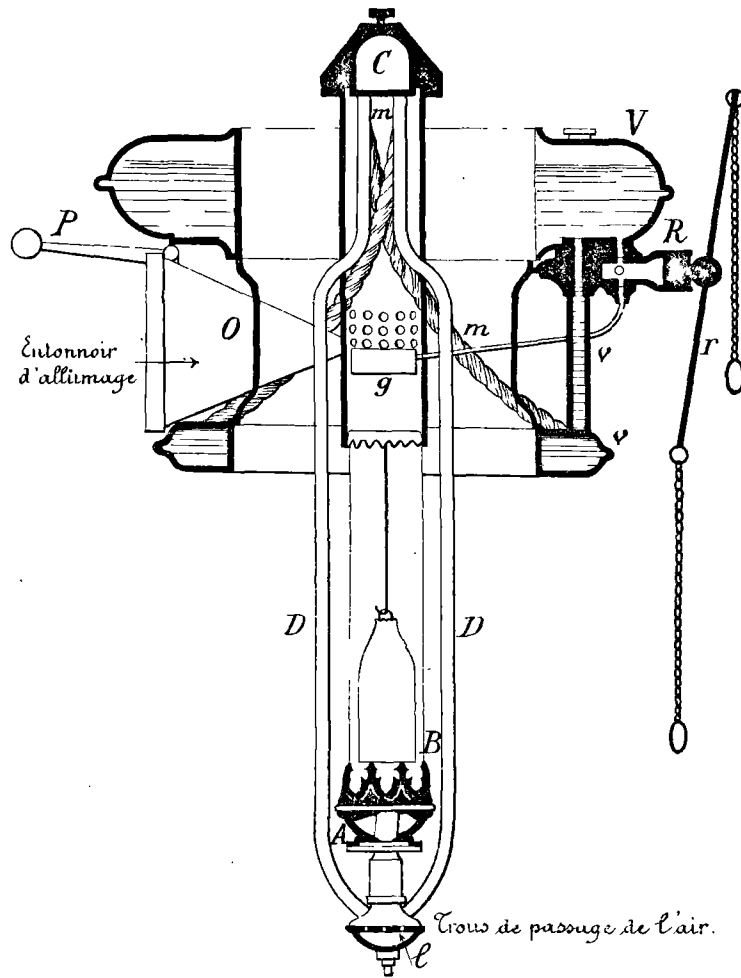


Lampe à mèche
avec vaporisation dans
la flamme.

des cours, ateliers, etc et qui est disposé pour être suspendue. L'alcool dénaturé est contenu dans deux réservoirs lenticulaires qui contournent la lanterne; V contient la réserve d'alcool, et qui communique avec V, au moyen du tube U, est le réservoir d'alimentation des mèches; ces mèches m, enfermées dans une douille de laiton, sont en amiante. Elles amènent l'alcool dans la chaudière C. Au début, il faut échauffer cette chaudière; pour cela, au dessous du réservoir V, le constructeur a placé un robinet à cavité R qui, au moment où on le fait, au moyen du levier I, tourner sur lui-même, prend dans le réservoir la quantité d'alcool nécessaire

de ce type il convient de citer le Bec Simplex construit par M. M. Lomeyrol et Soupiron, à Nantes. Dans l'intérieur du bec Bunsen B, se trouve un tube de cuivre T, saillant au-dessus du brûleur B; celui-ci contient un tube T' percé de trous, et dans lequel est comprimée une mèche d'amiante m, qui alimente une grosse mèche M de coton. La gazéification se produit sur l'extrémité de la mèche d'amiante m et le gaz, s'échappant dans l'espace annulaire des deux tubes, sort par de petits orifices à la base du tube extérieur O, O. Il se mélange à l'air arrivant par les trous P et brûle à l'extrémité B du Bunsen.

A ce type appartient la lampe allemande de Monopol, système Helft, qui est elle-même une modification de la lampe Schuckardt de Berlin. C'est une lampe à grande puissance, destinée à l'éclairage de la voie publique,



à l'allumage et la déverse dans une coupelle g; au moyen d'une topette d'alcool ou d'une allumette que l'on engage dans l'entonnoir O en soulevant la porte P, on met le feu à cet alcool; les mèches m ainsi que la chaudière C s'échauffent; l'alcool gazeux redescend par les tiges D et, mélangé d'air, par son passage au travers du réservoir C, s'enflamme spontanément.

Bec Monopol construit par M. Delamotte.

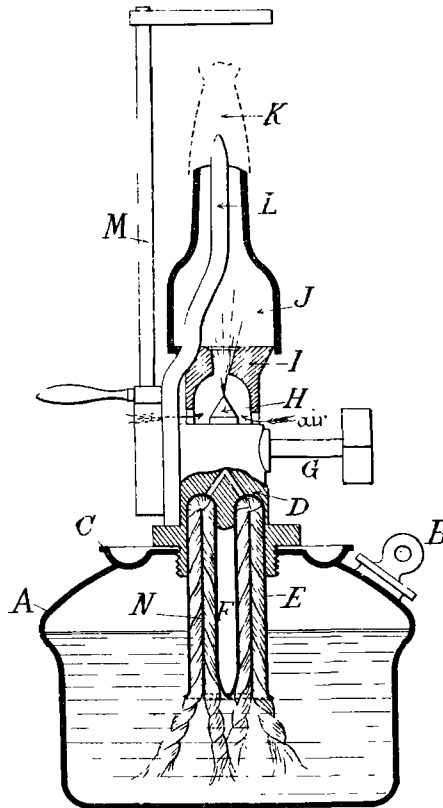
À ce moment, la coupelle, épuisée d'alcool, s'éteint et la température du bec ouer suffit à entretenir la chaleur de gazéification.

Combinaison a) b).
Lampe à mèche à

vaporisation par conductibilité. C'est là le modèle le plus répandu des lampes à alcool; le type en est le bec Phœbus construit en Allemagne à plus de 100.000 exemplaires. Nous allons décrire le modèle de la Société d'Éclairage, de chauffage et de force motrice par l'alcool (Denayrouse).

La lampe se compose d'un récipient *A* hermétiquement fermé avec bouchon de remplissage *B*; sur le dessus du récipient, une cuvette *C* sert à l'allumage; le vaporisateur se compose d'une pièce en métal *D* prolongée par un tube *E* avec, au centre, une tige de métal *F*; cette cavité, dans laquelle le liquide se vaporise, est percée au fond d'orifices conduisant la vapeur au robinet *G*; au-dessus du robinet se trouvent l'éjecteur *H*, le Bunsen *I*, la chambre de mélange *J*, dont la tête porte le manchon *K*.

Le conducteur de chaleur est double; il se compose en premier lieu d'une tige de métal bon conducteur de la chaleur *I*, placée au centre de la flamme et conduisant la chaleur au vapo-



Lampe à mèche à vaporisation par conductibilité.

vaporisateur D; et, en second lieu, d'une tige M surmontée d'une raquette massive captant les chaleurs perdues de la flamme et conduisant cette chaleur au vaporisateur D.

Le dispositif pour le placement de la mèche est ingénieux; il consiste en un bout de tube de cuivre N, autour duquel on enfle les mèches, et qu'on enfonce, une fois garni, dans le vaporisateur.

Une fois la lampe garnie d'un mélange de $\frac{2}{3}$ en volume de benzine pour $\frac{1}{3}$ d'alcool dénaturé, le bouchon bien vissé, on verse de l'alcool non carburé dans la coupelle et on l'allume; une fois que l'alcool a fini de brûler, on tourne le robinet et on allume le manchon; on règle la lumière par le robinet et par la bague d'air du Bunsen.

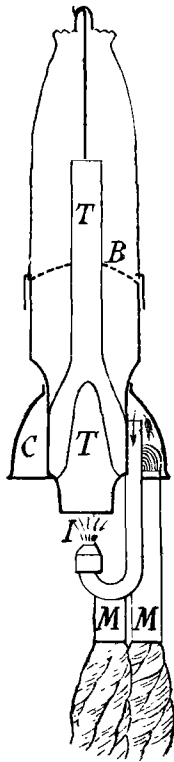
Voici de quelle manière la pression s'est faite dans l'appareil.

A l'allumage du bec, toute la partie métallique du bec et le haut du récipient ont chauffé et ont communiqué leur chaleur à la couche d'air et de vapeur qui surmonte le liquide. Cette couche gazeuse prend facilement une température ^{supérieure de 30° à la température} ambiante, ce qui correspond à un excès de pression d'environ $\frac{1}{10}$ d'atmosphère ou 1 mètre d'eau.

Dans une certaine mesure, on peut faire varier la quantité de chaleur transportée en faisant plus ou moins tourner la tige M; en hiver, par exemple, la raquette devra être en plein sur la flamme.

Ces lampes demandent à être allumées et à fonctionner dans la même pièce, à une température assez constante; il ne faut pas les porter brusquement d'une pièce chaude dans une pièce froide, sous peine de voir leur éclat varier par suite de la variation de pression au dessus du liquide.

A ce type appartient le bec Decamps, dont la partie essentielle est une chaudière en cuivre, soudée à l'argent, C, où aboutissent les mèches de
coton



C, chaudière en cuivre rouge soudé à l'argent.
 M, mèches de coton absorbantes.
 I, injecteur.
 T, tige récupératrice.
 B, Bunsen.

absorbantes M. De la partie inférieure de la chaudière se sépare un tube fin qui se recourbe et se termine par un injecteur I. Celui-ci projette le gaz d'alcool, aspire l'air nécessaire à sa combustion

et le gaz mélangé d'air brûle au-dessus du bec Bunsen en B au contact du manchon. À l'intérieur de ce manchon est une tige T de récupération qui ramène la chaleur à la chaudière. On allume en présentant une topette d'alcool enflammé au-dessus de la chaudière, au voisinage de l'injecteur. On règle la flamme au moyen d'un robinet à pointeau.

Bec Decamps.

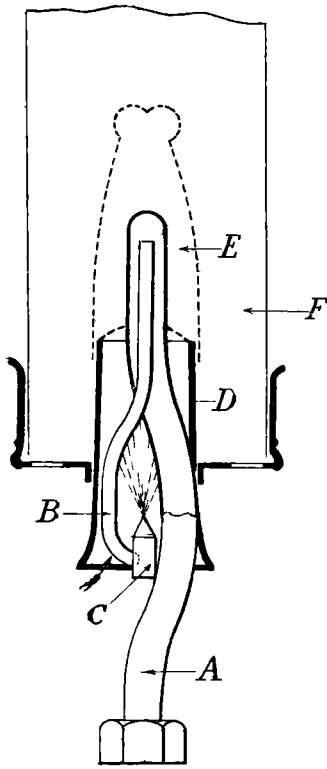
Combinaison a) b).
 Lampe à pression avec veilleuse. Allemagne.

Combinaison a) b').
 Lampe sans mèche à vaporisation dans la flamme.

Cette combinaison n'existe pas ou a été abandonnée en Allemagne.
 Le bec correspondant à cette combinaison se compose en principe d'un tube Field renversé et placé dans la flamme. Le liquide arrive par le gros tube A fermé dans le haut; un petit tube B part du haut et est fermé à l'autre extrémité par l'éjecteur C; le tout est recouvert par une galerie D portant le manchon E et le verre F.

Pour que la vaporisation soit plus régulière, on place dans le grand tube A un faisceau de fils métalliques; ce gros tube lui-même est vissé par un raccord à 3 pièces sur le récipient du liquide.

Le liquide est admis au bec de plusieurs façons, soit que le liquide soit placé à un niveau plus élevé, soit qu'on le fasse monter



Lampe sans mèche
à vaporisation dans
la flamme.

et se présente, à la combustion en B. Sur le dernier type de cette lampe se trouve un dispositif nouveau qui modifie le réglage d'air.

Ce dispositif consiste en un papillon qui obture le passage du mélange d'air et de vapeurs d'alcool. Cette obstruction peut se pratiquer de deux manières; ou bien en diminuant la section de passage du mélange dans le bec, au moyen d'un papillon conique a mû par une tige filetée B qui le fait monter ou descendre ou bien en employant un papillon pivotant c en un point quelconque du tube de mélange d.

Dans les deux cas, l'appel d'air varie et est proportionné

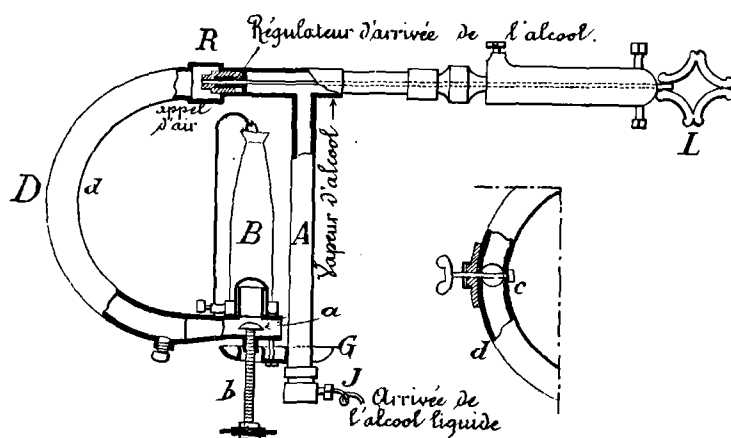
par une pression d'air.

L'allumage est très rapide et ne demande qu'une trentaine de secondes.

Le défaut capital de ce bec, c'est de se boucher par la décomposition de la vapeur combustible.

A ce type appartient la lampe Kornfeld ou lampe Impériale Russe qui est employée pour l'éclairage de grands espaces. L'alcool ou l'alcool carburé pénètre en J par un tube capillaire, s'élève dans la tige A, que l'on chauffe au début par la combustion d'une coupelle d'alcool G; à l'extrémité supérieure de la tige, le liquide traverse un robinet à pointeau R que règle la clé I, se gazéifie au-dessus du bec Auer, rencontre une tubulure par laquelle arrive de l'air, en quantité réglable, descend le tube courbé D

à la section réduite par le papillon.



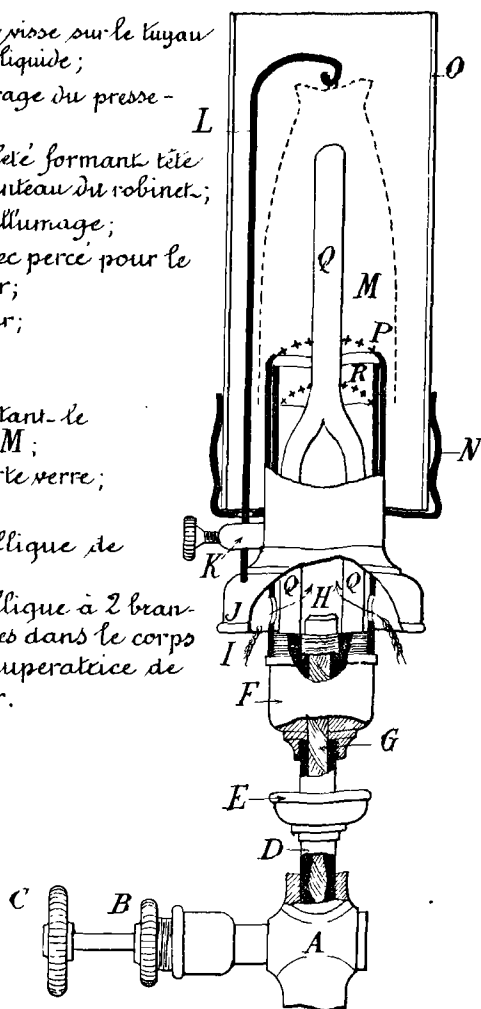
Lampe Kornfeld.

Combinaison a') b').
Lampe sans mèche à
vaporisation par conductibilité

Le type de ces lampes est la lampe Lecomte. Elle ne contient pas de chaudière; l'alcool amené par pression hydrostatique bout à l'intérieur d'un tube garni d'une brossse de toile métallique G; c'est une véritable chaudière Sexpollet où les espaces destinés à la vaporisation sont très restreints. Pour allumer la lampe, M. Lecomte a placé une petite cuvette I contenant un ou deux centimètres cubes d'alcool; on fait brûler cet alcool et la flamme va chauffer le tube où l'alcool pénètre; là, il se volatilise; le gaz d'alcool sort en H, se mélange à l'air et vient brûler contre le manchon. A partir de ce moment, la flamme chauffant cette atmosphère comprise dans le manchon Auer, chauffe forcément la tige Q qui, à son tour, chauffe la masselotte contenant la petite chaudière Sexpollet.

Enfin un robinet à pointeau C permet de régler la flamme. Nous donnons à la page 132 un tableau résumant les résultats obtenus, au laboratoire de l'Inspection du gaz de la Ville de Paris, par M. Couderchon. Les lampes étaient photométrées au moment

- A, robinet qui se visse sur le tuyau amenant le liquide;
- B, écrou de serrage du presse-étoupe,
- C, bouton moulé formant tête de la vis pointeau du robinet;
- E, cuvette d'allumage;
- F, corps du bec percé pour le vaporisateur;
- G, vaporisateur;
- H, éjecteur;
- I, Burnser;
- J, galerie portant le manchon M;
- N, galerie porte verre;
- O, cheminée,
- P, toile métallique de la tête.
- Q, tige métallique à 2 branches soudées dans le corps F; masse récupératrice de la chaleur.



Lampe sans mèche à vaporisation par conductibilité.

c'est à dire à peu près la même intensité; le premier dépense 3^{cm^3} par bougie-heure, et le second 3^{cm^3} .

De même, le Bec Biefvée N°2 [combinaison a)b)] et le bec Denayrouse [combinaison a)b)] donnent l'un et l'autre des intensités sensiblement égales de 23,2 et 22,8 bougies; or le premier consomme 2^{cm^3} par bougie-heure et le second 2^{cm^3} .

ou elles venaient de prendre leur pleine intensité, pesées à ce moment et maintenues allumées 2, 3 ou 4 heures. Avant de les peser au bout de ce temps, on les photométrait de nouveau.

L'examen des chiffres de ce tableau conduit à des remarques fort intéressantes.

1^o - Le mode de chauffage de la chaudière influe peu sur le rendement.

Si nous prenons, par exemple, le Bec Biefvée N°1 [combinaison a)b)] et le Bec Decamps N°2 (Système Lecointe) [combinaison a)b)], ils donnent l'un et l'autre 36^{cm^3} ,4 et 32^{cm^3} ,5

Consommations de lampes à alcool (Essais de M. Couderchon, Inspecteur de l'Eclairage de la Ville de Paris)

<i>Livre de la Bougie-heure</i>	<i>Intensité du Bec</i>	<i>Consommation du Bec</i>	<i>Dépenses du Bec</i>	<i>Consommation par Bougie-heure</i>
<small>(centigrammes alcool à 0,50 litres)</small>	<small>(Bougies décimales (1/100 unité phot.)</small>	<small>(cent. cube par heure)</small>	<small>(centimes par heure alcool, déchet et alcool, carbure, compris à 0,50 l. litre.)</small>	<small>(c.m.)</small>
0,36	9,6	69,1	3,5	$\frac{69,1}{9,6} = 7,2$
0,165	36,4	109,2	5,5	3,3
0,140	23,3	65,2	3,3	2,8
0,095	78,4	148,9	7,5	1,9
0,185	23,9	88,4	4,4	3,7
0,200	25,1	100,4	5,0	4,0
0,240	18,9	90,7	4,5	4,8
0,150	32,5	96,5	4,8	3,0
0,120	85,5	205,2	10,2	2,4
0,095	123,2	234,1	11,7	1,9
0,055	346,2	380,6	19,0	1,1
0,115	22,8	52,4	2,6	2,3
0,135	149,6	403,9	20,2	2,7
0,095	354,8	674,1	33,7	1,9
0,060	257,0	298,4	14,9	1,2
0,105	38,0	79,8	4,0	2,1
0,035	485,0	339,5	17,0	0,7
0,070	76,3	106,8	5,3	1,4
0,035	185,5	129,8	6,5	0,7
0,155	3,6	11,1	0,6	3,1
0,095	9,7	18,4	0,9	1,9
0,080	82,3	131,7	6,6	1,6
0,065	140,0	182,0	9,1	1,3
0,025	610,0	305,0	15,2	0,5

Lampes sans Gaxification:

Alcool carburé: Société Albedumière

Lampes à Gaxification:

Société Continentale Lignes N°1

id. id. N°2

1900

Société Regina

Lomagnol et Sulpizem

Decamps N°1

id. N°2

Blante N°1

id. N°2

Denayrouse (Lusion)

id. (Ordinaire)

Washington N°1

id. N°2

Koenfeld

Decamps N°2

Denayrouse (Lusion)

id. (sans pression) N°3

id. id. N°4

id. (alcaline) N°1

id. id. N°2

id. id. N°5

id. id. N°6

Koenfeld

Alcool dénaturé

Alcool carburé 50%

2° - L'alcool carburé à 50% comparé à l'alcool dénaturé, toutes conditions égales d'ailleurs, donne plus d'intensité et conduit, pour une même intensité, à une consommation moindre d'un tiers ou d'une moitié.

Un même bec Denayrouse à pression a produit 346,2 bougies avec de l'alcool dénaturé et 485 bougies avec de l'alcool carburé à 50%; pour produire une bougie-heure, il a dépensé 1,1 cm³ d'alcool dénaturé ou 0,7 cm³ d'alcool carburé à 50%. Une même lampe Kornfeld, brûlant de l'alcool dénaturé, puis de l'alcool carburé, a doublé son intensité lumineuse (257 et 610 bougies) et consommé dans le premier cas 1,2 cm³ et dans le second 0,5 cm³ de liquide.

3° - Avec des lampes du même type, alimentées de la même manière, l'éclairage est d'autant plus économique qu'il est plus intense.

La bougie-heure coûte moins cher avec une lampe de grande puissance qu'avec une lampe domestique. Deux becs Flante, de 85 et 123 bougies, ont consommé: l'un 2,4 cm³, l'autre 1,9 cm³ par bougie-heure. Deux becs Washington, de 149,6 et de 354,8 bougies, ont dépensé: l'un 2,7 cm³, l'autre 1,9 cm³ par bougie-heure.

Si nous considérons les becs Denayrouse alvéolaires (N^{os} 1, 2, 5 et 6), dont l'intensité va en croissant depuis 3,6 bougies jusqu'à 140 bougies, nous voyons que la consommation par bougie-heure va en diminuant de 3,1 cm³ à 1,3 cm³.

4° - Avec des lampes alimentées par un même liquide, le prix de l'unité de lumière diminue en même temps qu'augmente la pression avec laquelle l'alcool arrive à l'injecteur.

Toutes les lampes munies de réservoirs à pression ont donné une consommation faible. Ce fait tient à ce que le jet d'alcool gazéifié est projeté plus nettement; il entraîne dans un espace

plus restreint la quantité d'air qui doit le brûler et fait un cône de flamme analogue à celui que fournit le chalumeau; dès lors, si comme nous l'avons fait remarquer plus haut, la forme du manchon est convenablement choisie; si celui-ci emboîte exactement la flamme, la chaleur fournie par celle-ci est complètement utilisée et le manchon donne le maximum d'intensité.

Il résulte de ces considérations les conséquences suivantes au sujet du choix d'un éclairage par l'alcool.

I - Pour les grands éclairages, ceux qui se chiffrent administrativement (Éclairages de rues, de places,), il convient:

1^o - d'employer l'alcool carburé; celui-ci, en effet, au cours actuel de la benzine, est économique;

2^o - de prendre des lampes intenses; car pour celles-ci, la bougie-heure est produite par une dépense plus minime;

3^o - de choisir des lampes à pression; car ces lampes, munies de manchons bien adaptés, produisent une plus grande intensité que les autres.

II - Pour l'éclairage domestique, où l'on ne saurait brûler l'alcool carburé sans risquer d'avoir une flamme fuligineuse, où l'on ne saurait dépasser une intensité de 25 à 30 bougies, où l'on ne saurait avoir un réservoir de pression qui rendrait la lampe trop lourde et trop peu élégante, il convient:

1^o - d'employer l'alcool dénaturé;

2^o - de prendre des lampes de faible intensité;

3^o - de prendre des lampes à mèche.

On dépense ainsi quelques centimes de plus par soirée, mais il faut bien considérer que cet excédent de dépense représente le prix d'une plus grande commodité, d'un plus grand confortable.

Lampes à mèche type des lampes à pétrole. Aujourd'hui, on construit des lampes à mèches tout à fait analogues aux lampes à pétrole. Ces lampes consomment de l'alcool carburé, auquel différents noms ont été donnés tels que l'alcolucine (alcool carburé à 50% par un mélange en parties égales de benzol et de pétrole russe, additionné d'une petite quantité de naphthaline), le luminogène (alcool carburé à 40% avec du benzol et des hydrocarbures lourds).

Lampes à mèche surmontées d'un manchon Auer. Enfin deux ingénieurs Allemands, M^e Lehmann et M^e Achner, ont eu l'idée de placer un manchon Auer au-dessus d'une mèche ronde brûlant l'alcool liquide à la façon du pétrole, c'est à dire en présence d'un double courant d'air, le courant venant de l'air extérieur et le courant ayant circulé à l'intérieur du bec. La lampe ainsi construite offre l'avantage de n'exiger qu'un allumage; dès que la mèche est inflammée, on la coiffe d'un manchon qui devient incandescent. D'après M^e Lindet⁽¹⁾, cette lampe est difficile à régler; les variations de hauteur que présente le cercle de flamme, dans les différentes parties se traduisent par des inégalités dans l'éclairage du manchon et nous avons vu plus haut que c'était là un défaut capital à éviter; enfin il arrive qu'une portion du manchon se couvre de noir de fumée et présente une tache obscure. La consommation de ces lampes, toutes lampes domestiques, brûlant de l'alcool dénaturé, est légèrement supérieure à celle des lampes à gazéification.

Réchauds à alcool. Nous allons maintenant nous occuper des réchauds. Nous trouvons ici le même mode de division que pour les lampes.

Combinaison a) b). Nous trouvons dans cette classe le bec Préféré construit par la Société la Continentale Nouvelle. Ce bec peut être
« per

(1) Lindet - L'éclairage et le chauffage par l'alcool au Concours International de 1902.

(Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale. - C. 103. - 31 Aout 1902)

ascensum, et où l'alcool est gazéifié par une veilleuse permanente.

Combinaison a) b).

Réchauds alimentés « per ascensum » et où l'alcool est gazéifié par une flamme dérivée.

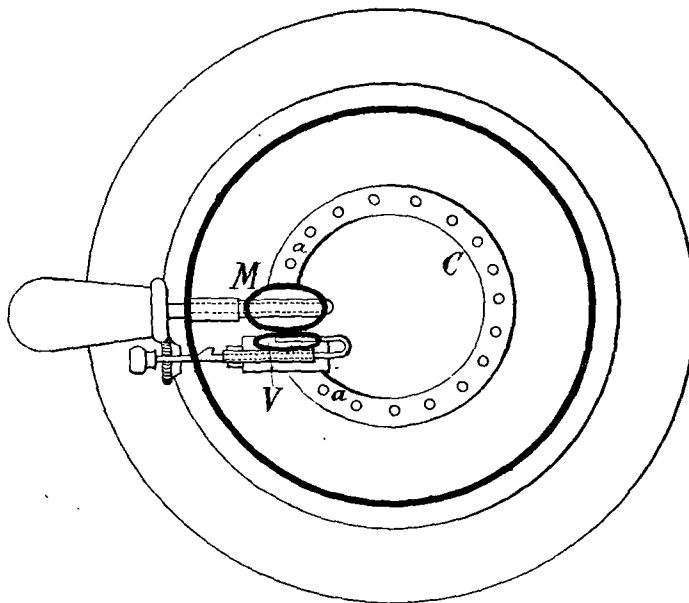
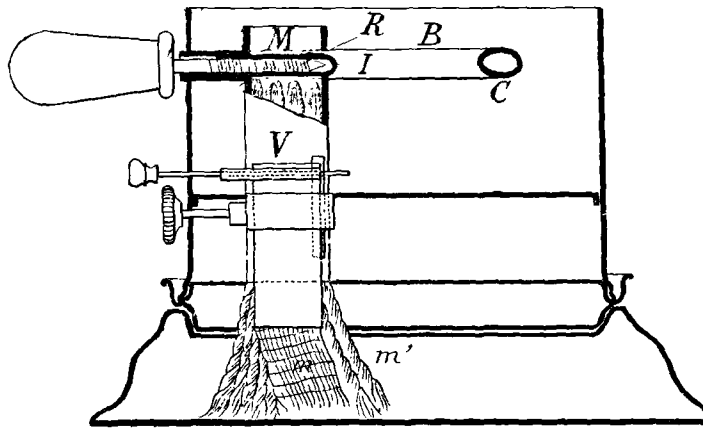
disposé au centre d'un réchaud ou enveloppé d'une carcasse cylindrique en tôle ou fonte ajourée formant poêle.

Citons parmi les réchauds de cette classe le réchaud le Polo.

L'appareil se compose d'un réservoir cylindrique à alcool vers la périphérie duquel se dresse une douille méplate de laiton M.

Celle-ci contient une mèche d'amiante m alimentée par une mèche de

coton m' et qui porte à sa partie supérieure et dirigée vers le centre du fourneau un injecteur I réglé par un pointeau R. Si l'on vient à échauffer la partie supérieure de la mèche, l'alcool se volatilise et s'échappe par l'injecteur sous forme d'un jet de gaz. Ce jet est recueilli dans un tube de laiton disposé presque horizontalement et formant Bunsen



Réchaud le Polo,

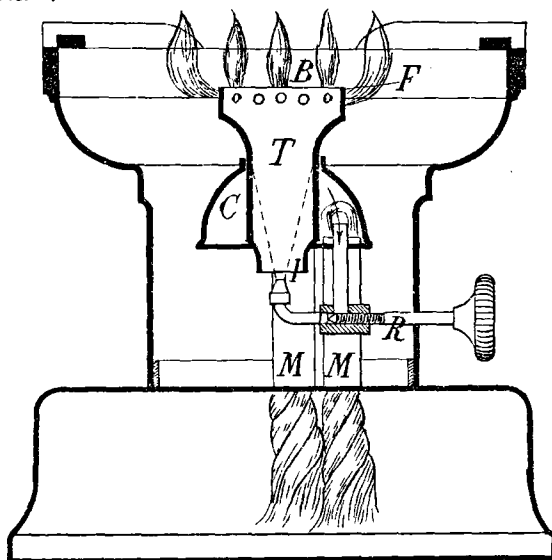
à mèche et à gazéification par flamme dérivée. te une couronne

percée de trous C, qui vient toucher sur ses deux côtés méplate la douille M dont il a été parlé plus haut. Pour allumer ce fourneau, on chauffe, au moyen d'une petite veilleuse V, placée contre la douille, l'extrémité de la mèche M; on éteint cette veilleuse dès que la couronne circulaire est en feu. La chaleur nécessaire à la gazéification se maintient grâce à deux jets de flamme A pris sur la couronne même et dirigés contre la douille méplate.

Combinaison a) b³).

Réchauds alimentés « per ascensum » et où l'alcool est gazéifié par conductibilité.

à ce titre appartiennent les réchauds de M^r Decamps (brevet Lecomte). L'alcool dénaturé aspiré par les



Réchaud Decamps (Brevet Lecomte)

mèches M arrive dans la chaudière C, s'y gazéifie, sort par l'injecteur I, après avoir été réglé par le robinet à pointeau R, se mélange à l'air en T et brûle en B. La flamme du Bunsen s'échappe par une série de trous disposés en couronne au-dessous d'un disque de bronze F; celui-ci, continuellement échauffé, communique sa chaleur à la chaudière

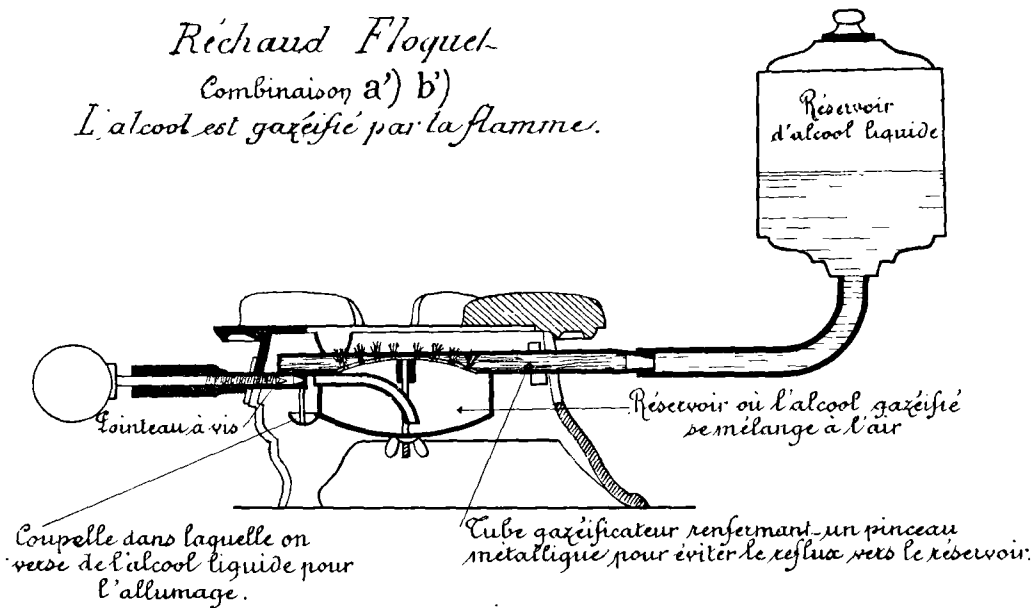
de gazéification.

Réchauds alimentés

« per descensum ».

Les réchauds de ce genre sont munis d'un réservoir d'alcool qui est en charge de 10 à 15 centimètres sur le tube où l'alcool se gazéifie. Tous s'allument en faisant écouler par un robinet à pointeau placé à l'extrémité du tube de gazéification, une certaine quantité d'alcool dans une coupelle, au-dessous de l'appareil (voir la figure du réchaud Floquet). Le robinet est refermé et quand on juge que le tube

Réchaud Floquet
Combinaison a') b')
L'alcool est gazéifié par la flamme.



de gazéification est assez chaud, on ouvre de nouveau le robinet; c'est par ce robinet que s'échappe alors le gaz d'alcool, c'est lui qui fait l'office d'injecteur. Il convient de remarquer qu'à partir de ce moment, le jet de gaz fait contre-pression sur le réservoir et empêche l'alcool liquide de s'écouler par ce robinet-pointeau. L'injecteur dirige le gaz dans un bec Bunsen terminé par une rampe en général circulaire. Cette rampe continue à échauffer, soit par une flamme dérivée, soit directement, le tube de gazéification. Ces appareils ont un défaut commun; s'ils viennent à s'éteindre, par le débordement du liquide chauffé ou par suite d'un courant d'air, le tube de gazéification se refroidit et cesse de fonctionner; le gaz ne repousse plus l'alcool dans le réservoir, et comme le robinet à pointeau est ouvert, l'alcool s'écoule et se perd. Néanmoins, ces appareils ont l'avantage de ressembler beaucoup aux fourneaux à gaz, dont les ménagères ont l'habitude, d'être d'une grande stabilité et de se régler facilement. Tous brûlent de l'alcool dénaturé.

Nous donnons aux pages suivantes deux tableaux d'essais de réchauds ⁽¹⁾. Leur inspection nous conduit aux remarques suivantes:

1^o - Les réchauds sans gazéification ou réchauds brûlant l'alcool liquide sont un peu moins économiques que les réchauds à gazéification, le liquide d'alimentation étant d'ailleurs le même.

Quel que soit le réchaud, que l'alcool y brûle liquide ou qu'il y brûle gazéifié, il faut, pour faire bouillir un litre d'eau, dépenser de 40 à 60 centimètres cubes d'alcool.

2^o - Avec un même liquide d'alimentation, le temps nécessaire pour porter 1 litre d'eau à l'ébullition est, en général, moindre avec les réchauds à gazéification qu'avec les autres réchauds.

3^o - Les réchauds à gazéification présentent sur les réchauds à mèche l'avantage d'avoir une flamme disposée sous forme de couronne ce qui permet de la diriger plus facilement sous le vase que l'on veut chauffer.

4^o - Les réchauds à gazéification ont une flamme plus fixe que les réchauds à mèche.

Les premiers présentent une flamme qui vacille moins

(1) Une remarque doit être faite au sujet de l'emploi, pour le chauffage domestique de l'alcool dit Solidifié.

Il en est de deux sortes:

1^o - L'Emeraude préparée par la Société des Alcools Solidifiés; ce produit consiste essentiellement en du coton nitré, gonflé dans l'alcool. Pour l'obtenir, on fait une dissolution de cellulose nitrée dans un mélange d'alcool dénaturé à 90° et d'éther; puis on laisse l'éther s'évaporer. L'alcool qui reste emprisonné dans la masse n'est plus qu'à 85°; l'éther a, en effet, apporté une quantité d'eau supplémentaire qui n'est pas évaporée en même temps que lui. 1 kilogramme de ce produit renferme 1^{lit.} 142 d'alcool à 85 degrés.

2^o - L'autre produit présenté par la Compagnie générale des Alcools est un savoir, fortement enrichi d'alcool. 1 kilogramme de ce produit renferme 1 litre d'alcool à 90 degrés.

Consommation de réchauds à alcool - (Concours de 1891).

(Essais de M^e Dillard, professeur suppléant au Conservatoire des Arts et Métiers)

		Consommation à l'heure en cm^3 .	Pour élever 1 litre d'eau à l'ébullition, il a fallu :		
			Temps en minutes	Alcool en cm^3 .	Dépense en centimes.
<i>Réchauds sans gazéification</i>					
<i>Réchauds brûlant l'alcool liquide.</i>					
Alcool dénaturé	Dusart	200	17	56	2,8
	Blauvel	158	20	52	2,6
	Chapuis	357	11	62	3,1
	Lefevre	259	16	69	3,4
Alcool solidifié	Compagnie des alcools solidifiés	120	22	44	2,2
	Compagnie générale de l'alcool.	139	9	52	2,6
<i>Réchauds à gazéification.</i>					
Alcool dénaturé	Lolo (per ascensum)	259	11	50	2,5
	Decamps (— id. —)	166	15	42	2,1
	Lévioteau (per descensum)	328	8	44	2,2
	Barlier (— id. —)	259	9	42	2,1
Alcool carburé	Denayrouse	210	9	33	1,6
	Fouillond	245	8	34	1,7

Consommation des Réchauds - (Concours de 1902)

Essais de M^r Villard.

		Consommation à l'heure (cent. cubes)	Pour élever 1 litre d'eau à l'ébullition il a fallu:			
			Temps (minutes)	alcool (cent. cubes)	Dépense (centimes)	
Réchauds sans Gazéification (alcool dénaturé)	Réchauds sans mèche (1)	Lasmantier	288	8	38	1,5
		Sewer	240	9	36	1,4
	Réchauds à mèche (2)	Chapée	367	8	49	1,9
		Gautreau	206	12	40	1,6
		Roulléau	192	12	38	1,5
	Réchauds à matières spongieuses (3)	Allain	245	10	41	1,6
Ligeon		144	18	43	1,7	
Réchauds à Gazéification simple. (Alcool dénaturé)	Pêtilleur permanente	Chapuis	231	12	46	1,8
		Eliot	261	10	36	1,4
	Réchauds à puits central.	Daudel	183	12	37	1,5
		Dufour	209	11	37	1,5
		Doché's	288	9	43	1,7
	Réchauds à couronne	Delamotte	209	11	37	1,5
		Compagnie gén. de l'alcool	165	14	38	1,6
		Picere	240	9	36	1,4
		Ehrich et Graetz	310	8	41	1,6
		Roy	319	7	44	1,8
	Denayrouse	273	8	38	1,5	

(1) Réchauds composés d'une petite casserole dans laquelle on verse l'alcool; le dessus porte une ouverture centrale de 4 à 5 centimètres de diamètre entourée de petits trous que l'on peut plus ou moins obturer; l'air passe par ces trous, vient lécher la surface de l'alcool liquide, se charge de sa vapeur et ce mélange est enflammé au sortir de l'orifice central.

(2) Anciens réchauds, appareils connus depuis longtemps sous le nom de lampes à alcool.

(3) Le réservoir est bouché de coton, ou d'amiante.

Consommation des Réchauds. (Concours de 1902). [Suite].

	Consommation à l'heure (cm^3)	Pour élever 1 litre d'eau à l'ébullition il a fallu :					
		Temps	Alcool	Dépense			
		(minutes)	(cm^3)	(centimes)			
Réchauds à gazéification et mélange d'air. (Alcool dénaturé)	Réchaud { Société Continentale (A) à { (Bec Préféré) veilleuse permanente	219	10	36	1,4		
	Réchauds à flamme dérivée.	{ Société des Calori- fères Lolo. — (A) Gautreau — (A)	285	13	41	1,6	
		{ DrévotEAU — (D)	206	13	40	1,6	
		{ Bernier — (D)	326	8	43	1,7	
		{ Pallad. — (D)	423	6	44	1,8	
		{ Dackès — (D)	216	12	43	1,7	
		{ — id — (D)	240	14	55	2,2	
	Réchauds à gazéification par flamme.	{ Barlier — (D)	144	22	53	2,1	
		{ Delamotte — (D)	384	7	44	1,8	
		{ Floquet — (D)	374	7	42	1,7	
		Réchauds à récupération.	{ Decamps — (A)	370	6	40	1,6
			{ — id — (A)	212	8	44	1,8
			{ — id — (A)	257	12	51	2,0
			{ — id — (A)	252	10	42	1,7
	{ — id — (A)		151	17	44	1,8	
Réchauds à alcool carburé à 50%	{ Fouilloud — (A)	396	7	46	1,8		
	{ de Eiken — (A)	310	7	38	1,5		
	{ Desvignes — (D)	391	8	50	2,0		
Réchauds à récupération	{ Denayrouse — (A)	354	6	39	1,6		
	{ Decamps — (A)	120	12	23	0,9		
	{ Fouilloud — (A)	245	8	34	1,4		

Notes — Les lettres A et D désignent le système d'alimentation per ascensum et per descensum.

sous l'influence des courants d'air.

5^e - Les réchauds à gazification peuvent être plus facilement réglés que les réchauds à mèches, grâce à l'emploi d'un robinet à pointeau.

6^e - Enfin le liquide d'alimentation étant le même, il importe peu que cette alimentation se fasse par ascensum ou par descensum.

Comparaison de l'éclairage à alcool avec les autres éclairages. Il nous reste, pour terminer cette étude, à comparer l'éclairage et le chauffage à l'alcool avec les procédés d'éclairage et de chauffage auxquels nous sommes déjà habitués. La solution de cette question est très délicate. En effet, quand on adopte un éclairage, surtout quand il s'agit d'un éclairage domestique, on ne tient pas seulement compte de l'économie réalisée; on se préoccupe aussi de la sécurité et de la beauté de ce mode d'éclairage, c'est à dire de la commodité, du bien-être, de l'élégance, qu'il nous apporte. Aussi, pour faire une comparaison utile et impartiale, convient-il de résumer rapidement les avantages et les inconvénients des divers modes d'éclairage tant au point de vue de l'économie, qu'à celui de la sécurité et de la beauté de la lumière.

Gaz et alcool.

Economie. - Dans les villes où le prix du mètre cube de gaz varie de 0,20 à 0,30, l'emploi du gaz est plus économique que celui de l'alcool.

Par exemple, à Paris, un bec de 7 à 8 carrels, soit 70 à 80 bougies, par incandescence (bec de la ville de Paris) brûle de 100 à 120 litres à l'heure, soit une dépense de 2,5 à 3 centimes. Cherchons dans le tableau que nous avons établi précédemment, un éclairage d'intensité analogue; nous trouvons le bec 1900, qui, pour 78 bougies, brûle 7,5 centimes d'alcool dénaturé soit plus du double; le bec Penayrouse sans pression, qui, pour 76 bougies, brûle 5,3 centimes d'alcool carburé.

Allumage. L'allumage est beaucoup plus rapide et beaucoup plus facile avec le gaz qu'avec l'alcool.

Sécurité. - Les mélanges de gaz et d'air sont explosifs; d'autre

part le gaz est non-seulement toxique par lui-même, mais par les produits de sa combustion. A ce point de vue, l'alcool est préférable surtout pour l'éclairage des chambres à coucher.

Enfin le gaz nécessite pour sa production une installation onéreuse, qui en bannit l'usage dans beaucoup de gares, de villages, de maisons de campagne, de châteaux.

Electricité et alcool.

Economie. A Paris, l'hectowatt-heure se paie 12 centimes; une lampe à incandescence de 16 bougies, qui consomme 3,5 watts par bougie et par heure coûte par heure 6,72 centimes. En y ajoutant le coût du remplacement de la lampe (100 heures pour la durée d'une lampe et 1,25 pour son prix d'achat), on trouve qu'une lampe de 16 bougies dépense par heure 6,85 centimes. Un bec à alcool Decamps N°1, de 18,9 bougies, ne dépense que 4,5 centimes par heure; il est vrai que ce prix de revient est un peu faible, car il ne comprend pas l'amortissement du prix de la lampe ni le prix des réparations; il est cependant très-inférieur à 6,72 centimes.

L'éclairage à arc est beaucoup plus économique: une lampe de 250 bougies consommant 225 watts-heure, dépense 5 à 6 centimes, tandis qu'une lampe à alcool de même puissance (Königsfeld) en brûle pour 15 centimes.

Sécurité. L'éclairage par lampes à incandescence présente le maximum de sécurité. Il n'y a plus de flamme libre pouvant enflammer les objets voisins, mais au contraire, dans une ampoule fermée, un filament incandescent qui, si l'ampoule se brisait, viendrait à s'éteindre immédiatement. L'allumage est supprimé; il n'y a pas, comme pour l'alcool et le pétrole, de manipulation de liquides inflammables. Enfin les explosions sont totalement supprimées.

L'éclairage par lampes à arc présente moins de sécurité si l'on n'a pas soin de disposer, à la partie inférieure des lampes, des cuvettes

ou cendriers destinés à recevoir les particules incandescentes qui se détachent des crayons.

Hygiène. - L'éclairage électrique est le plus hygiénique de tous.

Avec la lampe à incandescence, il n'y a pas de combustion à l'air libre; il n'y a pas, par conséquent, de production d'oxyde de carbone ni d'acide carbonique ni de vapeur d'eau. De plus, il n'y a pas de dégagement de chaleur appréciable.

La lampe à arc décompose l'acide carbonique de l'air en oxygène qui devient libre, et en carbone qui se précipite sur le crayon de la lampe; d'autre part, une petite partie de l'oxygène est transformée en ozone.

Mais, comme pour le gaz, l'électricité demande pour sa production une installation spéciale et onéreuse.

Pétrole et Alcool. Economie. Nous ne pouvons ici comparer que le pétrole et l'alcool carburé brûlant sur mèche.

Dans un rapport que M^r Ringelmann a fait à la Société Nationale d'Agriculture, nous trouvons les chiffres suivants relatifs à l'éclairage par le pétrole:

<u>Intensité en bougies</u>	<u>Consommation de pétrole en cm³</u>
11,8	73
23,8	133
52,3	241

Comparons la lampe de 11,8 bougies avec la lampe Allou-lumine (alcool carburé à 35%) de 9,6 bougies, brûlant 69 centimètres cubes d'alcool carburé; c'est le même chiffre et, dans le cas actuel, la même dépense. Brûlant sur mèche, l'alcool carburé à 35% et le pétrole se valent.

Bien que la comparaison ne soit plus aussi juste, on voit

que l'avantage reste à l'alcool si l'on compare les résultats de la lampe N°2, brûlant du pétrole sur mèches, et ceux des lampes de même intensité (bec Bieféé, bec Regina, bec Decamps) brûlant l'alcool gazéifié sur manchons ; la dépense est alors moitié moindre.

Sécurité et hygiène. L'alcool est plus inflammable que le pétrole. Cependant l'emplissage des lampes avec des bidons dont le bec est garni de 2 toiles métalliques, ne présente pas de danger même quand la lampe est allumée.

En revanche, l'alcool ne suinte pas ; en brûlant, il ne répand aucune odeur, ne donne pas de flamme fuligineuse.

Le pétrole brûlant sur mèche dégage par bougie-heure beaucoup plus de chaleur que l'alcool produisant l'incandescence.

Enfin la lumière donnée par le pétrole étant jaunâtre, fatigue beaucoup la vue et peut provoquer l'inflammation de la conjonctive.

Chap. III

Les Moteurs à explosions

§ 1^{er} — Types de moteurs employés en automobilisme.

Moteur à quatre temps. Le type de moteur le plus répandu en automobilisme est le type dit : Moteur à explosion à quatre temps.

Le mouvement du piston dans le cylindre du moteur est produit par l'explosion d'un mélange soit d'air et de vapeur d'essence, soit d'air et de vapeur d'alcool.

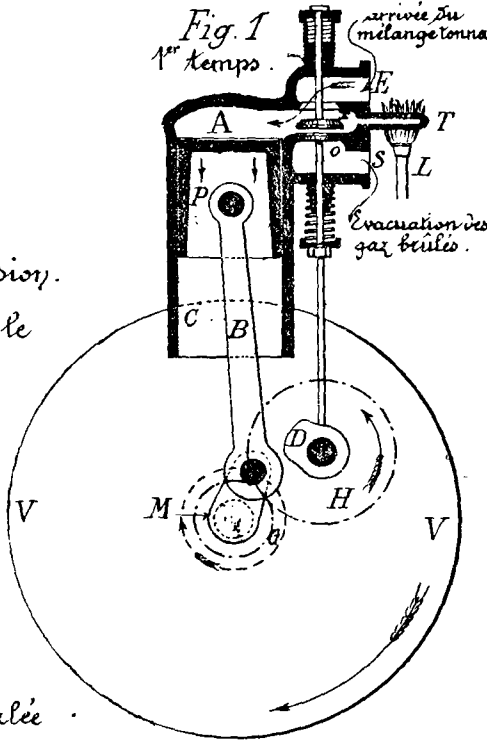
Ce mélange introduit dans le moteur subit les modifications suivantes qui correspondent aux courses du piston représentées dans les figures schématiques de la page suivante.

Premier temps. Aspiration du mélange gazeux. Le piston P partant en avant, à la 1^{re} course, crée une dépression (Fig. 1) dans le cylindre C; il sollicite la soupape d'admission I à s'ouvrir; le mélange gazeux arrive par l'ouverture E et se répand dans le cylindre.

Deuxième temps. Compression du mélange gazeux. A la fin de la course avant, le piston revient en arrière, pousse devant lui les gaz contenus dans le cylindre, ce qui ferme la soupape I (Fig. 2). La compression produite dans la chambre A s'élève jusqu'à la limite calculée par le constructeur.

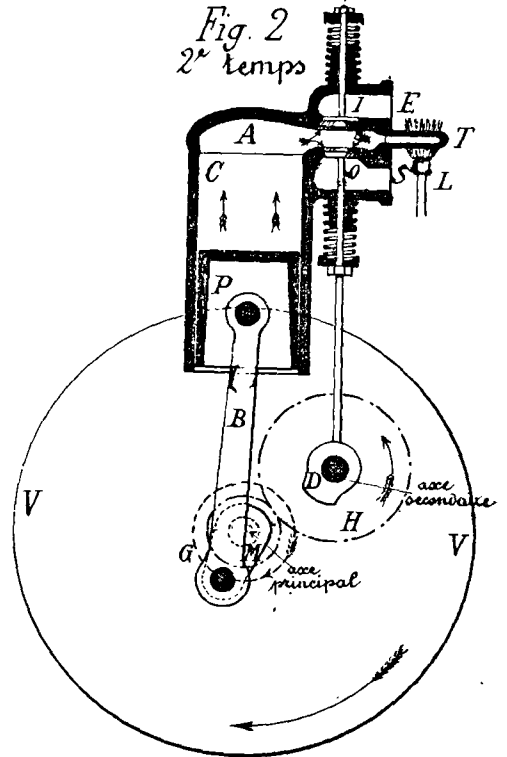
Troisième temps. Explosion et détente. — A la fin de la deuxième course, le mélange gazeux comprimé dans la chambre A est enflammé en I (Fig. 3) par un dispositif que nous décrirons plus loin. L'explosion des gaz exerce une pression sur le piston qui est lancé en avant; la détente des gaz se produit. A fin de course, cette détente ramène

Fig. 1
1^{er} temps.



- P, piston.
- C, cylindre.
- A, chambre d'explosion.
- B, bielle entraînant le piston P.
- M, manivelle.
- VV, volant.

Fig. 2
2^e temps



- G, roue d'engrenage calée sur l'arbre.
- H, roue d'engrenage de diamètre double de G, calée sur un arbre secondaire.
- D, came commandant la soupape d'échappement.
- O, soupape d'échappement.
- I, soupape d'admission.
- T, tube chauffé par le brûleur L pour produire l'inflammation du mélange tonnant.

Fig. 3
3^e temps

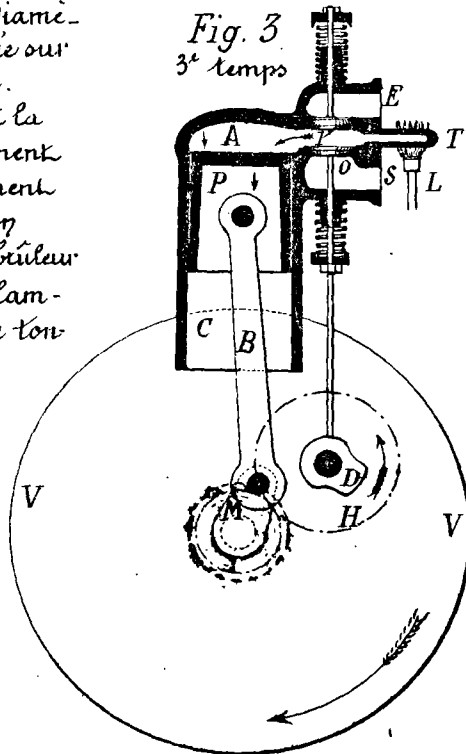
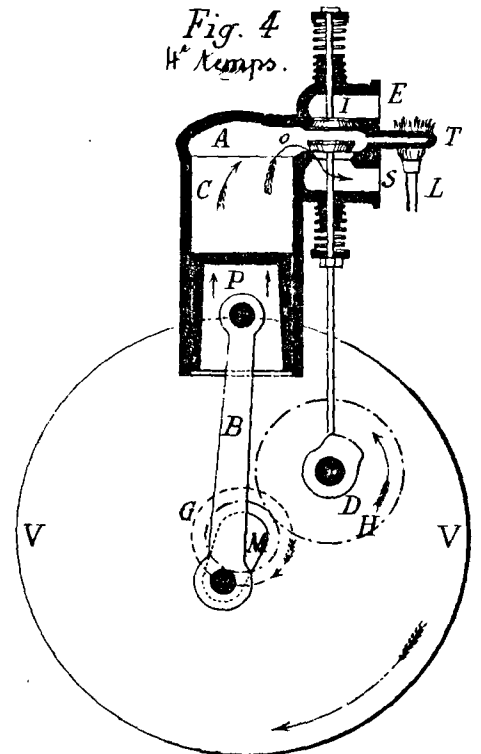


Fig. 4
4^e temps.



les gaz à une pression voisine de celle de l'atmosphère.

Quatrième temps. Evacuation. — A la fin du 3^{me} temps, la bielle *B* en travaillant sur la manivelle *M* a déjà fait ^{décrite} son tour et demi à celle-ci. Sur l'arbre principal de la manivelle est calée une roue d'engrenage *G* (Fig 4) qui en commande une autre *H* de diamètre double, calée sur un arbre secondaire. Cet arbre secondaire porte une came *D*. L'action de cette came sur la tige de la soupape *O* revient donc tous les deux tours. Or, il se fait que cette action ne se produit généralement que juste au moment où le piston est à fin de course. Donc, au moment où le piston reprend sa course arrière, la came souleve la soupape *O* en poussant sur la tige de celle-ci, et les gaz brûlés s'échappent dans l'atmosphère par l'ouverture *S*. La came est calculée de façon qu'à la fin de cette course, elle n'agisse plus sur la soupape *O*; celle-ci est alors rappelée sur son siège par un ressort. Le piston repart en avant, crée une nouvelle dépression qui ouvre la soupape *I* et l'ensemble des opérations précédentes se reproduit.

Représentation graphique des transformations du mélange gazeux introduit dans le moteur. — Nous avons donné la représentation schématisée du fonctionnement du moteur à quatre temps. Montrons maintenant comment on peut représenter la suite des transformations que subit pendant ce temps le mélange gazeux introduit.

Prenons deux axes de coordonnées rectangulaires *OV* et *OP*; sur l'axe *OV* portons des longueurs proportionnelles aux volumes occupés à chaque instant par le mélange gazeux qui évolue dans le moteur; sur l'axe *OP*, portons des longueurs proportionnelles aux pressions que supporte cette masse gazeuse. (Fig. 5).

Désignons par V_1 le volume de la chambre *A*, par V_2 le volume total de la chambre *A* et du volume balayé par le piston pendant une de ses courses.

Lorsque le piston est à la fin de la quatrième course, la chambre A est remplie par les gaz brûlés provenant d'une opération précédente; la pression de ces gaz est sensiblement égale à la pression atmosphérique. Si, à l'échelle, que nous avons adoptée, la long.^z OO représente cette pression, le point figuratif de l'état de la masse gazeuse qui reste dans le cylindre au début du premier temps est le point B de coordonnées V_1 et OO .

Pendant le premier temps, le piston aspire, dans le cylindre, un mélange d'air et de vapeur combustible. A la fin de ce premier temps, le mélange des gaz introduits et des gaz brûlés provenant d'une opération précédente, occupe le volume OV_2 sous une pression que l'on ne connaît pas mais qui est probablement peu différente de la pression de l'atmosphère. D'autre part, pendant cette première phase du mouvement, on ne sait pas, ce que il faut entendre par pression de la masse gazeuse qui se trouve à chaque instant dans le cylindre. On fait alors l'hypothèse suivante.

La pression de la masse gazeuse qui se trouve à chaque instant dans le cylindre pendant la première course est sensiblement égale à la pression atmosphérique; les points figuratifs des états successifs par lesquels passe cette masse de gaz sont les points de la droite BC qui est dite la ligne représentative du premier temps de la marche du moteur.

L'état du mélange gazeux à la fin du premier temps étant représenté par le point C, le piston revient en arrière et comprime, pendant le deuxième temps, le mélange gazeux de manière à l'amener du volume OV_2 au volume OV_1 .

Admettons que la compression soit assez rapide pour que, pendant ce deuxième temps, le mélange gazeux ne puisse ni céder de chaleur au cylindre de la machine ni en recevoir;

nous disons alors que la compression effectuée pendant le deuxième temps est adiabatique. Les volumes et les pressions de la masse gazeuse durant cette compression sont représentés par les points de la courbe CD.

À la fin du deuxième temps, on produit l'explosion du mélange gazeux. Admettons que cette explosion soit instantanée; en d'autres termes, que le piston n'ait pas le temps de se déplacer pendant qu'elle se produit. La pression dans le cylindre passe brusquement de la valeur $V_1 D$ à la valeur $V_1 E$, les points V et E se trouvant sur une même parallèle à l'axe des pressions. Le point

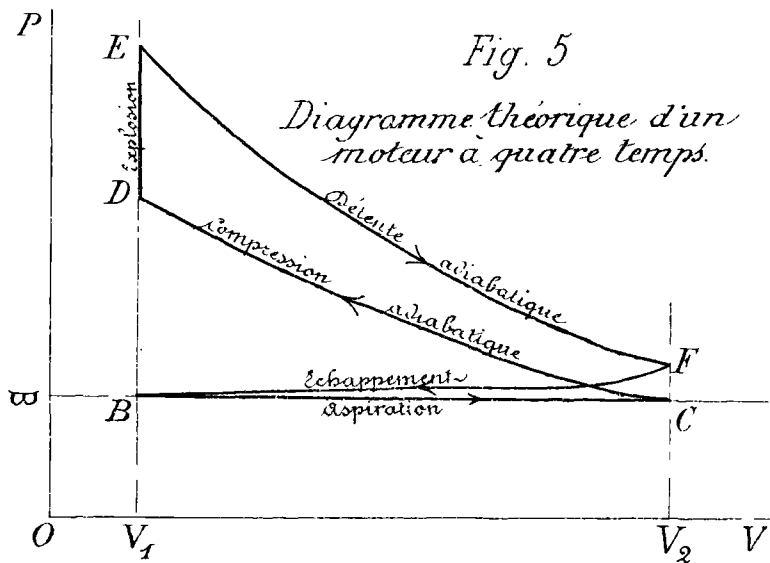


Fig. 5

Diagramme théorique d'un moteur à quatre temps.

E représente donc l'état (volume et pression) du mélange gazeux à la fin de l'explosion.

Durant le troisième temps, le piston se déplace dans le cylindre de manière que le

volume des gaz qui se trouvent derrière lui passe de la valeur OV_1 à la valeur OV_2 . Ces gaz se détendent dans le cylindre du moteur; admettons que cette détente soit adiabatique; la courbe $E F$ figure les volumes et les pressions successifs de la masse gazeuse durant cette détente. Le point F est le point figuratif de l'état (volume et pression) de la masse gazeuse à la fin du troisième temps.

Enfin, durant le quatrième temps, les gaz sont évacués.

dans l'atmosphère à une pression décroissante mais légèrement supérieure à la pression atmosphérique. La courbe $F'B$ figure, à chaque instant de l'échappement, les volumes et pressions de la masse de gaz qui se trouve dans le cylindre.

La figure que nous venons de construire s'appelle le Diagramme théorique du moteur à quatre temps.

On démontre que l'aire limitée par la courbe $BCDEFB$ ou sensiblement l'aire $CDEF C$ (l'aire $BCFB$ est négligeable) représente le travail produit sur le piston, pendant les quatre temps de la marche. Et pendant le premier et le quatrième temps, la pression sur les deux faces du piston est sensiblement la même; le travail produit pendant ces deux phases du mouvement est donc négligeable. Le travail produit pendant le deuxième temps (Compression) est un travail résistant; le travail produit pendant le troisième temps (détente) est un travail moteur. L'aire $CDEF C$ est la différence de deux autres :

L'aire $CBEFC$ qui représente le travail moteur;

L'aire $CBDC$ qui représente le travail résistant.

Le travail total produit pendant les quatre courses du piston est donc égal à celui qui se produirait pendant une course si le piston recevait sur l'une de ses faces un travail moteur représenté par l'aire $CBEFC$ et s'il supportait sur l'autre face un travail résistant représenté par l'aire $CBDC$.

Ceci posé, considérons un rectangle ayant pour base $V_1 V_2$ et pour surface la surface $CDEF C$, la hauteur P de ce rectangle est donnée par la relation :

$$P = \frac{\text{aire } CDEF C}{V_1 V_2}$$

On donne à cette hauteur P le nom d'ordonnée moyenne du diagramme. Elle représente la pression moyenne exercée sur le

piston pendant les périodes de travail moteur (3^{me} phase) et de travail résistant (2^{me} phase).

Elle nous figure donc la pression moyenne qui s'exerceait sur le piston si, pendant une course, le piston recevait sur l'une de ses faces le travail moteur CBEFC et supportait sur l'autre face le travail résistant CBDC.

Il nous est dès lors facile d'obtenir la puissance produite par la machine.

Appelons D , le diamètre (exprimé en mètres) du cylindre moteur;
 C , la course du piston (exprimée en mètres);
 N , le nombre de tours par minute;
 P , la pression moyenne (exprimée en kilogrammes par cm²)

Si le piston supporte pendant une course la pression moyenne P , il reçoit pendant cette course l'effort moyen représenté par :

$$\frac{10.000 \pi D^2}{4} \times P \quad \pi = 3,1416.$$

Le travail correspondant est, en kilogrammètres :

$$E = \frac{10.000 \pi D^2}{4} \times P \times C$$

Le travail effectué pendant une seconde est donc, en kilogrammètres :

$$E_i = \frac{10.000 \pi D^2}{4} \times P \times \frac{CN}{60}$$

puisque la course pendant laquelle le piston reçoit d'un côté du travail moteur et subit de l'autre un travail résistant est équivalente à deux courses réelles du moteur. ⁽¹⁾

(1) On peut encore raisonner de la manière suivante: On a:

$$P = \frac{\text{aire } CDEFC}{V_1 V_2} = \frac{\text{aire } CBEFC}{V_1 V_2} - \frac{\text{aire } CBDC}{V_1 V_2} = P_m - P_r$$

En désignant par P_m le rapport $\frac{\text{aire } CBEFC}{V_1 V_2}$ et par P_r le rapport $\frac{\text{aire } CBDC}{V_1 V_2}$, P_m et P_r représentent les pressions moyennes exercées sur le piston pendant la course motrice et pendant la course résistante.

Le travail produit pendant la course motrice a pour expression

$$\frac{10.000 \pi D^2}{4} \times P_m \times C$$

Le travail

Mais une machine d'une puissance de 1 cheval est une machine capable de produire 75 kilogrammètres par seconde; une machine qui produit E_i kilogrammètres par seconde a donc une puissance de $\frac{E_i}{75}$ chevaux ou bien

$$F_i = \frac{10.000 \pi D^2}{4} \times P \times \frac{CN}{60 \times 75} = 1,7453 D^2 CNP.$$

Remarque.

Dans un grand nombre d'ouvrages, on adopte aujourd'hui une unité de puissance différente du cheval-vapeur; cette nouvelle unité est le Poncelet.

Une machine est dite avoir une puissance de 1 poncelet lorsqu'elle est capable de produire un travail de 100 kilogrammètres par seconde. Un cheval-vapeur vaut donc 0,75 poncelet, ou un poncelet vaut 1,34 cheval-vapeur.

Si, dans la formule précédente, nous exprimons la puissance en poncelets, nous trouvons :

$$F_i' = \frac{10.000 \pi D^2}{4} \times P \times \frac{CN}{60 \times 100} = 1,309 D^2 CNP.$$

Travail indiqué.

On donne au travail E_i le nom de travail indiqué produit pendant une seconde et aux quantités F_i et F_i' le nom de puissance indiquée.

Désignons par Q la quantité de chaleur dégagée pendant l'explosion par le mélange gazeux introduit dans le moteur, et

(Suite du cours de la page précédente)

Le travail produit pendant la course résistante a pour expression :

$$\frac{10.000 \pi D^2}{4} \times P_r \times C$$

Le travail total produit pendant un tour (ensemble de la course motrice et de la course résistante) a pour expression :

$$\frac{10.000 \pi D^2}{4} \times C (P_m - P_r) = \frac{10.000 \pi D^2}{4} \times C \times P$$

et le travail produit pendant $\frac{N}{60}$ tours ou pendant une seconde a l'expression E_i que nous avons donnée.

par E_i l'équivalent mécanique de la chaleur ; on donne au rapport

$$r_i = \frac{E_i}{E_i Q}$$

le nom de Rendement thermique indiqué.

La quantité Q reçoit souvent le nom de Quantité de chaleur disponible par explosion.

L'équivalent mécanique de la chaleur E_i est une constante qui a les valeurs suivantes :

Si on prend comme unités le kilogramme-poids, le mètre et la grande calorie, ou calorie-kilogramme (quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 kilogramme d'eau de 0° à 1°), E_i prend la valeur 425.

Si on prend comme unités le gramme-masse, le centimètre et la petite calorie, ou calorie-gramme, E_i prend la valeur $4,17 \times 10^7$.

Exemple du calcul précédent.

Prenons comme exemple le résultat suivant obtenu sur un moteur de Dion alimenté avec de l'alcool carburé à 50%.

C	- Course du piston en mètres	_____	0,11
D	- Diamètre du piston en mètres	_____	0,081
$\frac{\pi D^2}{4}$	- Surface du piston en mètres carrés	_____	0,005.184
$\frac{\pi D^2}{4} \times C$	- Volume de la cylindrée en mètres cubes	_____	0,000.570
N	- Vitesse en tours par minute	_____	1300
$\frac{N}{60}$	- id. seconde	_____	21,7
aire CDEFC	- Surface utile du diagramme en cent. carrés	_____	13,035
$V_1 V_2$	- Longueur du diagramme en centimètres.	_____	10
$\frac{\text{aire CDEFC}}{V_1 V_2}$	- Hauteur du rectangle équivalent au diagramme en centimètres.	_____	1,3035
P	- Pression moyenne correspondante en kilogrammes par centimètre carré.	_____	4,345
$\frac{10.000 \pi D^2}{4} \times P$	- Force exercée sur le piston en kilogrammes	_____	51,84 x 4,345 = 225,245

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \frac{10.000\pi D^2}{4} \times P \times C = \text{Travail pendant deux tours en} \\ &\text{kilogrammètres } 0,11 \times 225,245 = 24,78 \\ \mathcal{E}_i &= \text{Travail effectué par seconde en kilogrammètres} = 537,73 \\ P_i &= \text{Puissance indiquée en chevaux} = 7,17 \\ P'_i &= \text{id en poncelets} = 5,4 \end{aligned}$$

Diagrammes réels.

Pour tracer le diagramme théorique, nous avons fait quelques hypothèses qui définissent des conditions idéales dont on doit, autant que possible, se rapprocher dans la pratique, mais qui ne sont pas en général réalisées. Nous avons supposé que la compression et la détente du mélange gazeux étaient adiabatiques. En réalité pendant la compression, les parois du cylindre du moteur cèdent de la chaleur au mélange gazeux tandis que, pendant la détente, ce mélange, qui se trouve à une température supérieure à celle des parois, leur cède de la chaleur. D'autre part, l'explosion n'est pas instantanée comme nous l'avons supposé; pendant le temps qu'elle se produit, le piston parcourt un certain chemin et le point E_i qui, dans la figure 5 correspond à la pression maximum à la fin de l'explosion, se trouve d'autant plus reporté vers la droite que l'explosion a nécessité un temps plus long pour se propager dans toute la masse du mélange gazeux.

Le diagramme réel a donc une forme différente de celle du diagramme théorique. On appelle diagramme normal celui dont la forme est la plus voisine de celle du diagramme théorique; nous avons représenté un tel diagramme dans la figure 6.

On peut remarquer dans ce diagramme que l'échappement commence en e avant que le piston ne soit arrivé au troisième temps, à la fin de sa course. On dit alors que l'on fait de l'avance à l'échappement. Celle-ci a pour but d'éviter une compression des gaz de la combustion pendant le début de l'échappement, compression qui

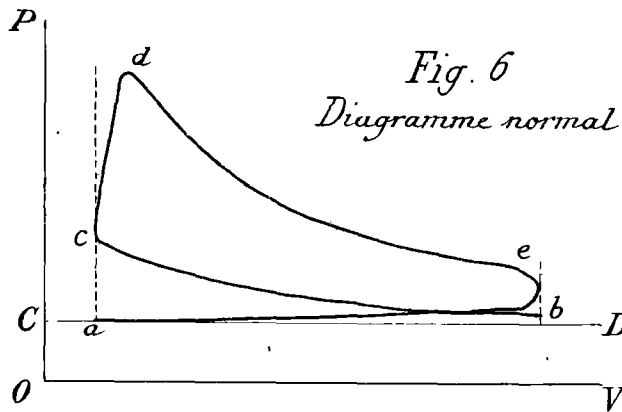


Fig. 6
Diagramme normal

se produit si l'échappement commence au début du 4^{me} temps et qui est nuisible en ce qu'elle introduit un travail résistant et diminue par là même le travail et la puissance indiqués.

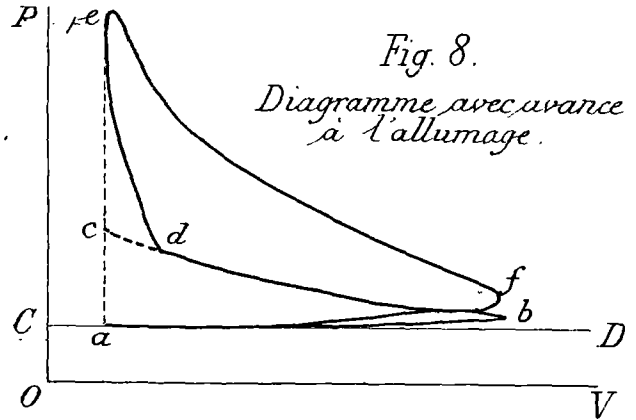
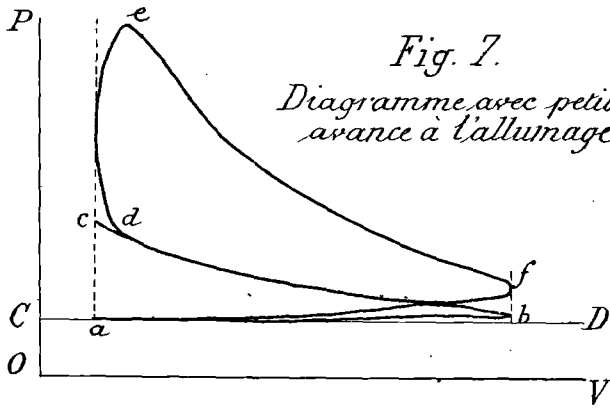
Le diagramme ci-contre nous montre que l'allumage du mélange gazeux se fait en c à la fin du 2^{me} temps. Le plus souvent, on produit ce que l'on appelle l'avance à l'allumage, c'est à dire qu'on allume le mélange gazeux avant la fin du 2^{me} temps. Cette avance à l'allumage est nécessaire par ce fait que le mélange introduit dans le moteur n'étant pas homogène, l'explosion peut rencontrer des obstacles à sa propagation par suite de la présence de parties moins riches en substances combustibles. Si, dans ces conditions, on allume le mélange à fond de course, il peut se faire que l'explosion se continuant pendant tout ou partie du 3^{me} temps, la détente des gaz brûlés ne puisse se produire ou même que l'explosion se propage à l'extérieur du moteur.

Dans les deux cas, le mélange tonnant ne produit pas tout le travail qu'il est susceptible de fournir; une partie de ce travail est dépensée en pure perte.

D'un autre côté, on fait de l'avance à l'allumage afin d'avoir une combustion aussi complète que possible. Sans cela, en particulier quand le mélange tonnant est formé par un mélange d'air et d'essence de pétrole, il peut arriver que les gaz d'échappement contiennent soit un peu d'essence non brûlée, soit des carbures d'hydrogène provenant de la décomposition des carbures existant dans

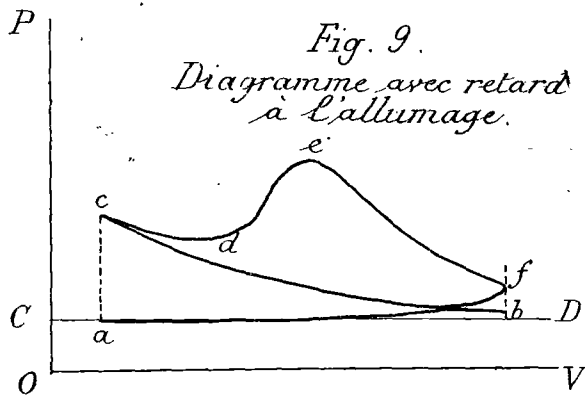
L'essence, carbures dont la présence est toujours dénotée par l'odeur désagréable des gaz d'échappement.

Quand on fait de l'avance à l'allumage, les diagrammes affectent l'une ou l'autre des formes des figures 7 et 8 suivant que



cette avance est plus ou moins considérable. Par exemple, le second diagramme nous montre, que le maximum de la pression explosive est obtenu à la fin du 2^{me} temps et que la détente des gaz brûlés commence dès le début du 3^{me} temps - alors qu'il n'en est pas ainsi, dans les autres diagrammes.

Au contraire, lorsqu'on a un retard à l'allumage (Fig. 9), le gaz comprimé se détend pendant une partie de la course de



détente et l'on a le diagramme représenté par la figure 9. On voit immédiatement que l'aire limitée par la courbe de ce diagramme est plus petite que l'une quelconque des aires qui précèdent; le travail indiqué est plus faible dans le cas d'un retard à l'allumage que dans le cas où l'allumage se fait à fond de course ou avant la fin du 2^{me} temps.

Tracé des diagrammes.

Manographe de M. N. Hospitalier
et Carpentier.

Les diagrammes que nous venons de décrire sont tracés par la machine elle-même. Tant que le nombre des tours par minute n'est pas supérieur à 300, on peut obtenir ce tracé au moyen d'indicateurs, tous fondés sur le principe de l'indicateur de Watt.

Mais lorsque, comme dans les moteurs d'automobiles, le nombre des tours par minute atteint 1000 ou 1500, les instruments qui sont employés pour les machines fixes et les locomotives ne sont plus utilisables à cause de l'inertie des pièces qui constituent l'indicateur.

C'est dans le but de combler cette lacune, que M. Hospitalier a établi avec la collaboration de M. Carpentier, le manographe ou instrument inscripteur de pression.

Composition optique des mouvements

de 2 diapasons vibrant dans des plans rectangulaires.

Afin de nous rendre compte du mode de fonctionnement du manographe, considérons 2 diapasons portant chacun un miroir plan collé sur une de leurs branches (Fig. 10). Le diapason 1 peut vibrer dans un plan horizontal, tandis que l'autre diapason 2 peut vibrer dans un plan vertical, c'est-à-dire dans un plan perpendiculaire au premier.

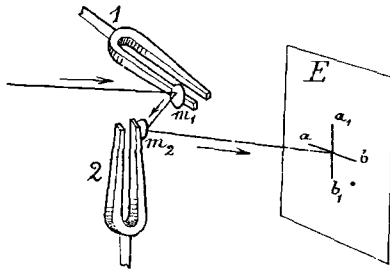


Fig. 10

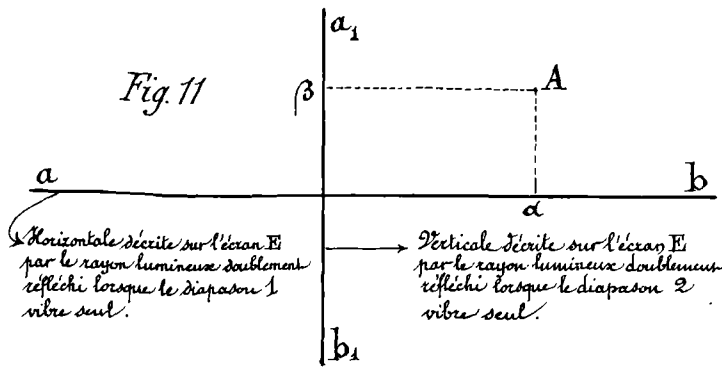
Considérons un rayon lumineux qui, après s'être réfléchi sur le miroir m_1 du diapason 1, se réfléchit sur le miroir m_2 et enfin vient rencontrer un écran E .

Laissons le miroir m_2 fixe et faisons vibrer le diapason 1 dans un plan horizontal. Par suite du mouvement du miroir m_1 , la normale à ce miroir se déplace dans un plan horizontal, l'angle que fait le rayon incident avec la normale à ce miroir varie et le rayon réfléchi se déplace dans un plan horizontal qui est ici le plan d'incidence sur le miroir m_1 ; l'intersection de ce rayon réfléchi avec un plan quelconque décrit donc l'horizontale de ce plan. En particulier,

le rayon réfléchi sur le miroir m_2 , qui provient de ce premier rayon réfléchi, rencontre l'écran E suivant les divers points de l'horizontale ab . Comme le mouvement de vibration du miroir m_1 est très rapide, le temps qui s'écoule entre deux positions successives du rayon doublement réfléchi est inférieur à la durée des impressions lumineuses sur la rétine; nous apercevons sur l'écran E la ligne horizontale lumineuse ab , lieu des points d'intersection avec cet écran, des diverses positions du rayon doublement réfléchi sur les miroirs m_1 et m_2 .

Laissons maintenant le miroir m_1 fixe et faisons vibrer le diapason 2 dans un plan vertical. La normale au miroir m_2 se meut dans ce plan vertical, qui est le plan d'incidence de la lumière sur ce miroir; le rayon réfléchi sur le miroir m_2 se déplace donc dans ce plan et son intersection avec l'écran E est une droite verticale a_1b_1 , que l'on aperçoit par suite du même phénomène de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine; cette seconde droite lumineuse est perpendiculaire à la première.

Supposons maintenant que nous faisons vibrer à la fois les deux diapasons. Le rayon doublement réfléchi sur le miroir m_1 , puis sur le miroir m_2 ne décrit plus en général un plan; à un instant donné t , sa position dépend de la position du miroir m_1 et de celle du miroir m_2 . Sur l'écran E considérons les deux droites rectangulaires ab et a_1b_1 ; à l'instant t , si le miroir m_1 vibrait seul, le rayon doublement réfléchi couperait l'écran E en un point α de la droite ab (Fig. 11); à ce même instant t , si le miroir m_2 vibrait seul, le rayon doublement réfléchi couperait l'écran E en un point β de la droite a_1b_1 ; enfin, à ce même instant t , si les miroirs m_1 et m_2 vibrent ensemble, le rayon doublement réfléchi coupe l'écran E en un point A situé à l'intersection d'une parallèle à ab menée par le point β et d'une parallèle à a_1b_1 menée par le point α .



La position de ce point A varie avec l'instant t et ce point décrit sur l'écran E1 une certaine courbe. Comme l'intervalle de temps que le point A met à passer d'une

position à une autre, est inférieur à la durée de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, l'œil aperçoit à la fin toute une série de positions du point A et voit sur l'écran E1 la courbe décrite par le point A sous la forme d'une ligne lumineuse.

La forme de cette courbe dépend :

1^{re} - des périodes des deux diapasons ; deux diapasons à l'octave, l'un de l'autre ne donnent pas la même courbe que deux diapasons à l'unisson ; (Fig. 12).

2^e - de la différence de phase ou du décalage de deux diapasons d'une période déterminée, c'est-à-dire de l'intervalle de temps que l'on a mis entre les excitations de deux diapasons (Fig. 12).

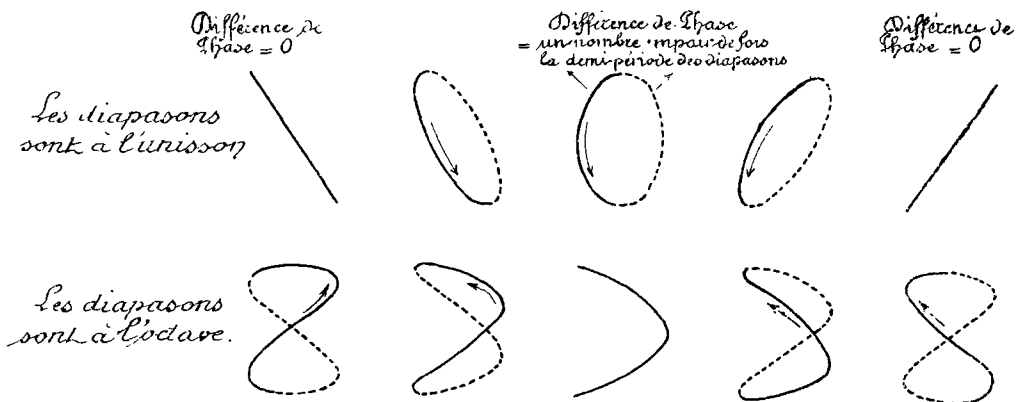


Fig. 12.

Composition des mouvements de 2 diapasons vibrant dans des plans rectangulaires

Si les diapasons sont à l'unisson, la courbe décrite par le point A est en général une ellipse; mais si les diapasons ont été excités en même temps, c'est à dire si la différence de phase est nulle, cette ellipse se réduit à une droite; elle devient un cercle si l'intervalle de temps compris entre les excitations des deux diapasons est égal à un nombre impair de fois la moitié de leur période.

Un diapason qui donne la note "la normal", fait 435 vibrations par seconde; sa période est égale à $\frac{1}{435}$ de seconde.

Si la différence de phase entre les mouvements de deux tels diapasons vibrant dans des plans rectangulaires est égal à un nombre impair de fois $\frac{1}{870}$ de seconde, la composition des mouvements de ces diapasons donne un cercle sur l'écran E.

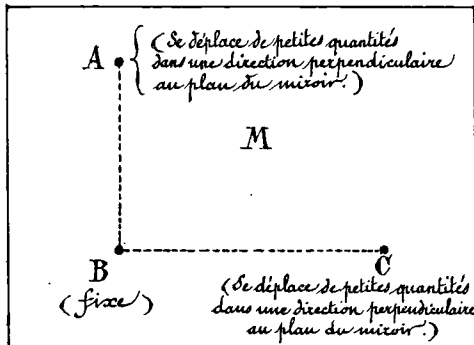
Remarque.

Pour rendre plus claire l'explication précédente, nous avons supposé qu'un seul rayon lumineux se réfléchissait sur les 2 miroirs m_1 et m_2 pour venir finalement rencontrer l'écran E. En réalité on fait réfléchir sur les deux miroirs un petit faisceau lumineux convergent dont l'image, après double réflexion est au point sur l'écran E.

Déplacements d'un miroir plan reposant sur trois points.

Ceci posé, considérons un miroir plan placé dans le plan du papier et reposant sur trois points A, B, C, disposés de telle façon que les droites AB et BC soient rectangulaires entre elles (Fig. 13). Le point B est fixe; les deux points A et C peuvent subir de petits déplacements chacun suivant une direction normale au plan du miroir ou au plan

Fig. 13



du papier. Envoyons sur le miroir un faisceau lumineux convergent provenant d'un point dont, après réflexion sur le miroir M, l'image se peint sur un écran E parallèle au miroir M ou au plan du papier.

Si, laissant fixes les points A et B et par suite la ligne AB, on fait mouvoir de petites quantités autour de AB le point C, dans une direction normale au miroir M, on observe, par exemple sur l'écran E, une droite lumineuse analogue à celle qui a été observée avec les deux diapasons en laissant fixe le diapason 2 et en excitant le diapason 1. Si, au contraire, nous laissons fixes les points B et C et par suite la droite BC et que nous faisons mouvoir de petites quantités le point A autour de BC dans une direction normale au miroir M, nous observons sur l'écran E, une droite lumineuse analogue à celle que nous avons obtenue en laissant fixe le diapason 1 et excitant le diapason 2, c'est à dire une droite lumineuse normale à la première. On peut, en effet, assimiler les deux directions BC et BA aux directions des branches de deux diapasons vibrant, comme les diapasons considérés plus haut, dans deux plans rectangulaires.

Enfin si nous faisons mouvoir à la fois les points A et C de petites quantités dans une direction normale au plan du miroir M, nous observons sur l'écran E un phénomène de composition de mouvements analogue à celui que nous avons décrit dans l'expérience des 2 diapasons vibrant dans des plans rectangulaires. Nous voyons se peindre sur l'écran E une courbe dont la forme dépend non-seulement des mouvements propres des points A et C, mais encore du décalage, ou de la différence de phase de ces mouvements l'un par rapport à l'autre.

Principe du Manographe. En particulier, supposons que le déplacement du point C soit commandé par le mouvement du piston d'un moteur d'automobile et se fasse en synchronisme avec lui. Si le point C se déplace seul le rayon lumineux réfléchi sur le miroir M trace sur l'écran E une droite qui nous figure l'axe sur lequel nous portons les déplacements du piston, c'est à dire l'axe que nous avons désigné par OV dans les diagrammes représentés plus haut.

Supposons d'autre part que les déplacements du point A soient déterminés par les variations de pression qui se produisent à l'intérieur du moteur pendant sa marche. Si le point A se déplaçait seul le rayon lumineux réfléchi sur le miroir M tracerait sur l'écran E une droite perpendiculaire à la première et qui ne serait autre que celle sur laquelle nous avons porté les valeurs des pressions c'est à dire l'axe désigné plus haut par OP.

Lorsque le moteur est en marche, les deux points A et C se meuvent à la fois et sur l'écran E se peint une courbe dont la forme dépend à la fois du mouvement du piston et des pressions de la masse gazeuse qui, dans le moteur, évolue derrière le piston. Cette courbe est le diagramme réel que nous avons défini plus haut.

Réalisation pratique du manographe.

C'est le principe du manographe Hospitalier-Carpentier.

Indiquons maintenant comment on est parvenue à réaliser les conditions ci-dessus.

Miroir.

Le miroir sur lequel on fait réfléchir la lumière est non un miroir plan, mais, pour des raisons que nous donnerons plus loin, un miroir sphérique concave représenté en F dans les figures 15, 16, 18.

Transmission au point C du mouvement du piston.

Le mouvement du piston est transmis au point C par l'intermédiaire d'une tige C₁ (Fig. 15) qui reçoit son mouvement alternatif par l'intermédiaire d'un répétiteur composé d'une manivelle m et d'une bielle N commandés par le pignon P. Celui-ci engrène avec un pignon P de même diamètre, fixé à l'extrémité de l'arbre L (Fig. 16) mis en mouvement par un arbre flexible S (Fig. 17) relié à l'arbre du moteur. Le mouvement de la tige C₁ est donc entièrement synchrone avec le mouvement du piston; il en est de même des déplacements du point C du miroir F.

On peut se demander pourquoi le flexible S ne vient pas

commander directement le pignon P' . Cela tient au fait suivant.

Il faut que le début de la course du piston coïncide exactement avec le début du mouvement de la tige C_2 ; de plus, il convient que le mouvement de la tige C_1 soit conjugué avec le mouvement du piston de telle manière que le diagramme soit lisible de gauche à droite comme on en a l'habitude, c'est à dire que durant le premier temps (admission du mélange tonnant), le rayon réfléchi sur le miroir F se déplace de gauche à droite. Si le flexible S commandait directement le pignon P' , il faudrait des tâtonnements pénibles pour arriver à ce but; il faudrait en effet, en donnant au pignon P' un mouvement de rotation indépendant du mouvement de rotation du moteur, supprimer le décalage existant entre le mouvement de la tige C_1 et celui du piston; si le flexible S était directement relié au pignon P' , on ne pourrait effectuer le réglage qu'en supprimant la liaison de ce flexible soit avec P' soit avec l'axe du moteur. On serait conduit à une série d'essais très longs et très délicats qui ne pourraient s'effectuer pendant la marche du moteur.

On évite ces difficultés par l'artifice suivant.

Avec le pignon P' , on fait engrener un pignon égal P auquel est fixé le flexible S . Le pignon P se déplace sans tourner sur lui-même de telle façon que le centre O décrive une circonférence de centre O' autour du pignon P' (Fig. 14). Dans ce déplacement, le pignon P donne au pignon P' le mouvement de rotation nécessaire pour supprimer le

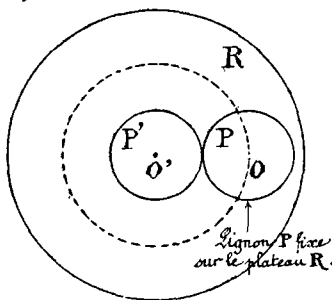


Fig. 14

décalage existant entre les mouvements du piston et de la tige C_1 . Pour obtenir ce mouvement du pignon P , on le fixe sur un plateau R denté extérieurement, que l'on fait tourner autour de O' et par suite autour de P' au moyen d'une vis tangente V commandée par un bouton molleté J (Fig. 15).

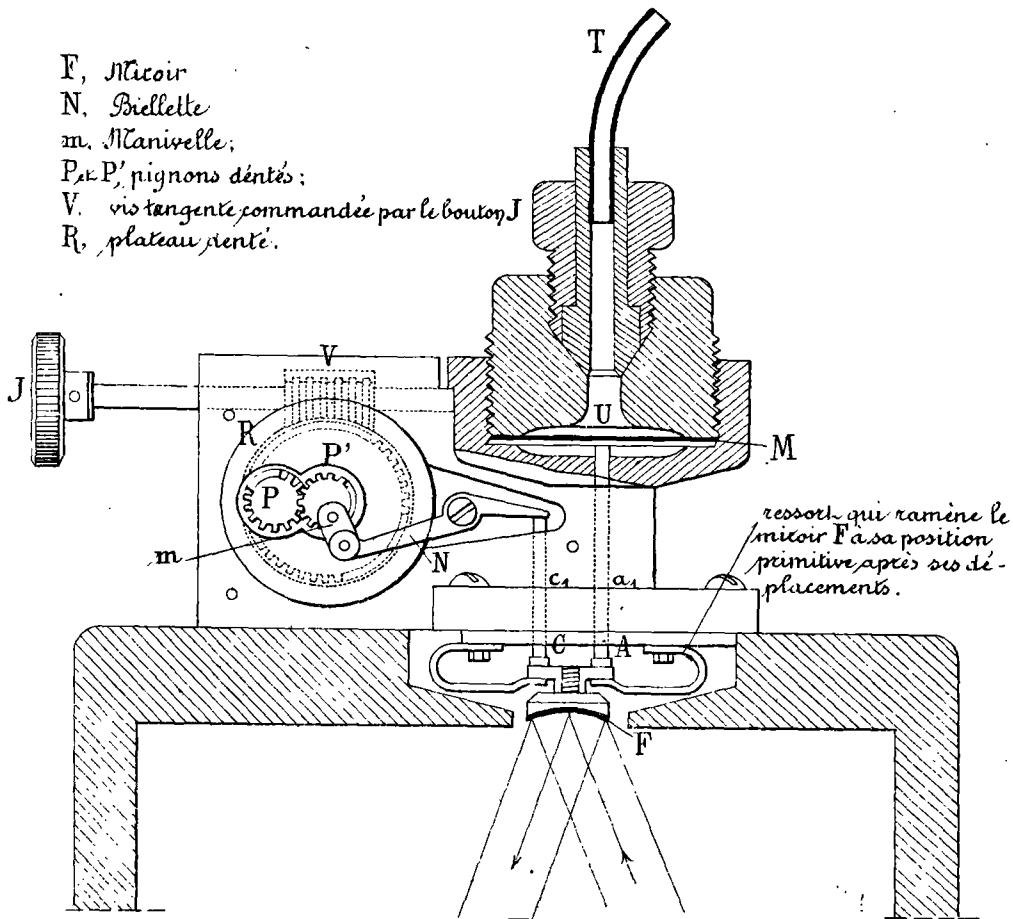


Fig. 15.

Manographe Hospitalier-Carpentier.

Transmissions aux points A et C du miroir F des mouvements du piston et des variations de la pression à l'intérieur du moteur.

(Locomotion. 2^e Année. n^o 24. p. 172).

T, tube de communication du moteur avec le manographe;

U, chambre;

M, membrane fermant la chambre U;

a₁, tige qui transmet au point A du miroir les mouvements de la membrane M

c₁, tige qui transmet au point C du miroir F les mouvements du piston.

Si le moteur est arrêté, on voit, en le faisant tourner à la main, dans quelle position doit se trouver le rayon réfléchi sur le miroir F, ou le point lumineux intersection du rayon réfléchi avec l'écran sur lequel on observe le diagramme fourni par le moteur;

s'il ne se trouve pas à l'end. it. voulu, on l'y amène en faisant tourner P autour de P' à l'aide de la vis V. En marche, le réglage se fera aussi facilement et on obtiendra un calage identique des deux mouvements, en observant, par exemple, la forme de la courbe correspondant à la période de compression, en remarquant si cette courbe va en montant de droite à gauche.

Transmission de la pression au point A du miroir.

Comment la pression est-elle transmise au point A ? La chambre de compression du moteur à étudier communique par un tube en cuivre T avec le manographe; ce tube, d'un diamètre intérieur de 2 à 3 millimètres, vient aboutir dans une chambre U fermée par une membrane métallique et flexible M. Cette membrane agit ici comme celle d'un récepteur téléphonique, et se déplace sous l'influence des variations de pression; ces mouvements sont transmis par l'intermédiaire de la tige a, au point A du miroir F.

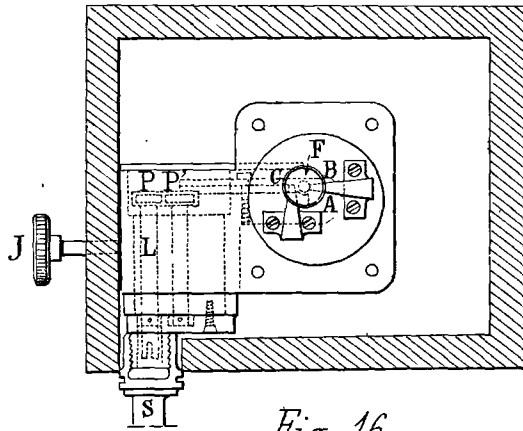


Fig. 16.
Manographe Hospitalier-Carpentier.
(Locomotion. n° 24. p. 171)

- A, B, C, points d'appui du miroir F;
- P, P', pignons dentés;
- L, arbre fixé à l'extrémité du flexible S;
- S, flexible;
- J, bouton moleté qui déplace le pignon P autour de P'

Il convient d'ailleurs de faire ici une remarque importante. Le volume de la chambre U offre une capacité presque nulle; il n'y a pas dans cette chambre de mouvement de gaz, mais seulement de légers déplacements sous l'influence des variations de pression. La longueur du tube T n'exécède pas

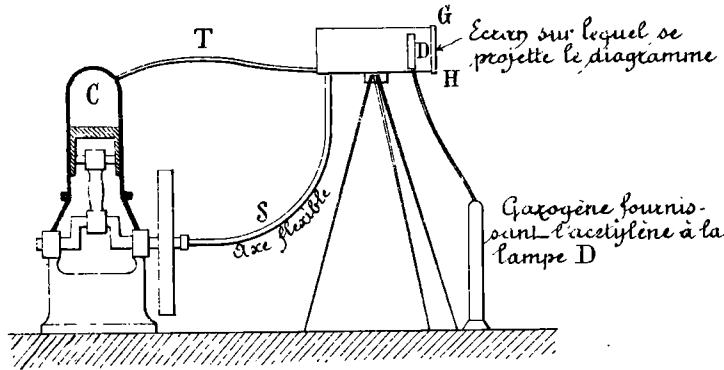


Fig. 17
Manographe Hospitalier-Carpentier.
Ensemble et montage sur un moteur.

Eclaircissement du
miroir.

Enfin, on obtient de la manière suivante les rayons

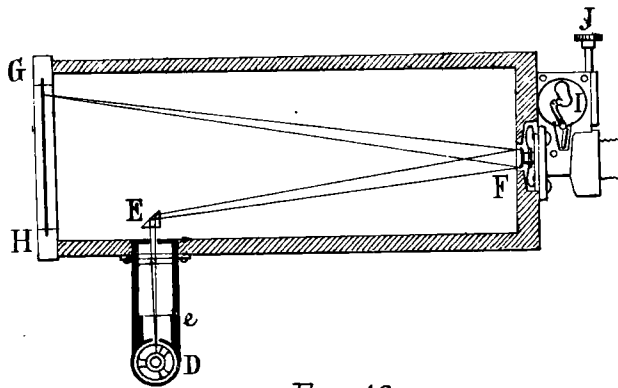


Fig. 18.
Manographe Hospitalier-Carpentier.
Coupe horizontale de l'ensemble du manographe
(Locomotion. n° 24 p. 171)

- D, lampe à acétylène ;
- e, petit écran ;
- E, prisme à réflexion totale jouant le rôle d'un miroir plan ;
- F, miroir concave ;
- GH, écran sur lequel se peint l'image du diagramme.

un mètre et on a reconnu que pour cette longueur, les pertes de charge sont absolument négligeables; l'aspect du diagramme ne se trouve donc pas dénaturé.

Enfin, on obtient de la manière suivante les rayons lumineux qui, réfléchis sur le miroir F, donnent sur un écran l'image du diagramme cherché.

Une lampe à acétylène D fournit un faisceau de rayons lumineux divergents guidés par un trou percé dans un petit écran e; ce faisceau tombe sur un miroir plan E ou mieux sur un prisme à réflexion totale⁽¹⁾ qui renvoie sur le miroir

1) Les miroirs ont l'inconvénient de se ternir; aussi les remplace-t-on quand il s'agit de miroirs plans par des prismes à réflexion totale qui jouent le même rôle sans présenter l'inconvénient signalé.

concave ⁽¹⁾ F' un faisceau lumineux divergent. Enfin ce miroir F' transforme ce faisceau divergent en un faisceau qui converge en un point de l'écran GH formé par une glace dépolie. Le point lumineux, sommet du faisceau réfléchi sur le miroir F' , décrit sur la glace dépolie le diagramme du moteur. Si l'on veut conserver trace de ce diagramme, on peut le calquer sur la glace dépolie ou substituer une plaque photographique, à cette glace.

Nous avons maintenant tous les éléments nécessaires pour étudier les diverses circonstances de la marche du moteur et nous rendre compte de leurs influences respectives.

Caractères communs
à tous les moteurs
d'automobiles.

Mais, auparavant, nous allons indiquer quelques-uns des caractères communs à tous les moteurs d'automobiles.

La capacité dans laquelle le mélange gazeux passe par les diverses transformations que nous avons analysées plus haut est toujours un corps de pompe cylindrique dans lequel se meut un piston, à chacune des courses duquel correspond l'une des phases dont la série se reproduit indéfiniment.

Cylindre.

Le cylindre est coulé d'une seule pièce, avec des ailettes de refroidissement ou une double enveloppe dans laquelle, on fait circuler de l'eau de réfrigération. La culasse, autrement dit, le fond, qui constitue la chambre d'explosion et contient les organes chargés de la distribution et de l'allumage, tantôt vient de fonte avec le cylindre, comme dans les moteurs de Dion et Schaudel, que nous décrirons plus loin; tantôt lui est rapportée par des boulons de fixation.

Dans ce dernier cas, la jonction de ces deux pièces si importantes doit être faite avec le plus grand soin. La seule garniture

(1) On prend un miroir concave, pour transformer le faisceau divergent qui tombe sur lui en un faisceau convergent.

qu'on puisse recommander est la garniture en amiante employée sur forme de carton. Beaucoup de constructeurs l'emploient simplement enduit sur ses deux faces de graisse minérale mélangée avec de la plombagine. Mais, cette disposition ne convient que pour les moteurs dont le refroidissement se fait uniquement par ailettes.

Quand le refroidissement se fait par circulation d'eau, la difficulté de faire un bon joint devient plus grande. En effet, généralement, les moteurs se refroidissant par l'eau ont la chemise d'eau se continuant depuis le cylindre jusqu'à la culasse à travers le joint, quand celui-ci existe. Celui-ci doit alors satisfaire à deux conditions: d'un côté être imperméable à l'eau et de l'autre côté être incombustible.

On obtient dans ce cas un très bon joint en employant un joint au carton d'amiante cuit préalablement dans de l'huile de lin brillante et ensuite enduit de graisse minérale plombaginée. L'étanchéité est alors absolument assurée, et quand on doit démonter la culasse d'avec le cylindre, le joint se décolle facilement grâce à la présence de la plombagine ⁽¹⁾

Les cylindres de moteurs d'automobiles se font en acier ou en fonte demi-dure à grain serré ⁽²⁾; dans le premier cas leur épaisseur varie

(1) On emploie aussi avec succès, un joint métalloplastique formé d'une feuille de carton d'amiante serrée entre deux feuilles minces de cuivre.

La question des joints est traitée avec le plus grand soin, au point de vue de la pratique du conducteur d'automobile, dans l'ouvrage bien connu de M. E. Baudry de Sannier, Les Recettes du Chauffeur - Joints, p. 77 à 82.

(2) Le moteur Centaure, dit moteur de 50 ch², exposé par la maison Lanhard et Levassor pendant le mois de Juin 1902 à la Galerie des Machines (exposition de l'alcool) a un cylindre foré à la façon d'un canon dans une barre de fer forgé. L'enveloppe d'eau est une chemise en cuivre qui s'agrafe en haut et en bas dans les gorges où elle est soudée à l'étain; cette chemise porte des ondulations destinées à compenser les dilatations inégales que subissent le fer et le cuivre sous l'effet de la chaleur; la chemise fonctionne alors comme une sorte d'accordéon.

de 2 à 3,5 mill. pour des moteurs de 65 à 90 mm. d'alésage (diamètre intérieur); dans le second cas, l'épaisseur atteint jusqu'à 6 mill.

Le cylindre doit être soigneusement alésé à l'intérieur pour recevoir le piston qui, lui, sera de son côté tourné juste assez pour pouvoir être introduit, de force, dans le cylindre. On aura soin, dans la suite, de roter le piston à la main avec un peu de protée d'émeri mêlée à de l'huile. Après cette opération, le piston marche librement dans le cylindre, mais sans le moindre jeu, et il doit être parfaitement étanche même sans ses segments.

Les pistons sont sans tige et très longs de manière à se guider eux-mêmes; parfois ils sont prolongés par un manchon creux. Ils portent des rainures, dans lesquelles sont logés des anneaux métalliques, ou segments, qui servent de garniture pour assurer l'étanchéité. Ces anneaux métalliques sont construits de façon qu'ils s'appliquent sur la paroi intérieure par leur élasticité même; ils se composent de bagues fendues après avoir été tournés intérieurement et extérieurement à un diamètre légèrement plus grand que celui des cylindres. La fente ou coupure de ces bagues est faite en S et de manière qu'à la mise en place, les extrémités viennent presque en contact. Il faut avoir soin de croiser les coupures des différentes bagues superposées de façon que, s'il y en a trois, leurs coupures soient à 120° l'une de l'autre; qu'elles soient à 90° s'il y en a quatre. Ces bagues sont faites en fonte plus tendre que celle du cylindre pour qu'elles aient à supporter l'usure, mais le grain doit en être serré. Enfin les segments doivent bien remplir les rainures dans le sens de leur largeur, sans pourtant être forcés (car cela paralyserait leur élasticité) et conserver un jeu d'au moins 1 mm dans le sens de la profondeur afin d'agir comme ressorts.

Il est toujours avantageux de rechercher la légèreté dans le piston et cela d'autant plus que la machine marche à une plus

grande vitesse. Les pistons lourds doivent surtout être rejetés avec les cylindres horizontaux, à cause de l'ovalisation, qui peut se produire.

La bielle directement fixée au piston attaque par son autre extrémité le vilebrequin de l'arbre moteur. Il y a toujours avantage à faire le touillon d'articulation du piston et de la bielle en acier trempé rectifié après la trempe.

Les autres organes des moteurs d'automobiles diffèrent sinon par leur nature du moins par leur commande. Nous les étudierons successivement en passant en revue successivement le refroidissement, la distribution, l'inflammation, l'échappement, la régulation, la carburation, etc...

Toutefois, il convient, avant d'aller plus loin, de donner une description de moteur qui peut être considérée comme étant actuellement le type des moteurs d'automobiles, le moteur de Dion.

Le moteur de Dion 1902 (type 6 et 8 chevaux)⁽¹⁾ se compose de deux parties principales : le cylindre M et le bâti N (Fig. 19).

Le cylindre est coulé d'une pièce en fonte de fer ordinaire.

Le bâti est coulé en deux boîtes qui se joignent hermétiquement dans le sens vertical ; il est fait d'aluminium allié à un peu de cuivre. Cet alliage produit un métal plus résistant, plus fluide au moment de la coulée et par conséquent moins sujet aux soufflures qui ne proviennent que de l'emprisonnement de bulles d'air dans le métal en fusion.

Tout en haut, nous voyons le raccord A, en bronze, vissé dans le sommet. C'est la partie supérieure, la sortie de la chemise dans laquelle circule l'eau de réfrigération du moteur ; l'entrée de cette eau se fait par le raccord F. On voit sur les côtés du piston P les copeaux, en forme d'ovales allongés, de cette chemise.

⁽¹⁾ L. Baudry de Saunier. — La voiture de Dion-Bouton 1902 (type 6 et 8 chev.). [Locomotion. 2^{me} année. N° 16. p. 37].

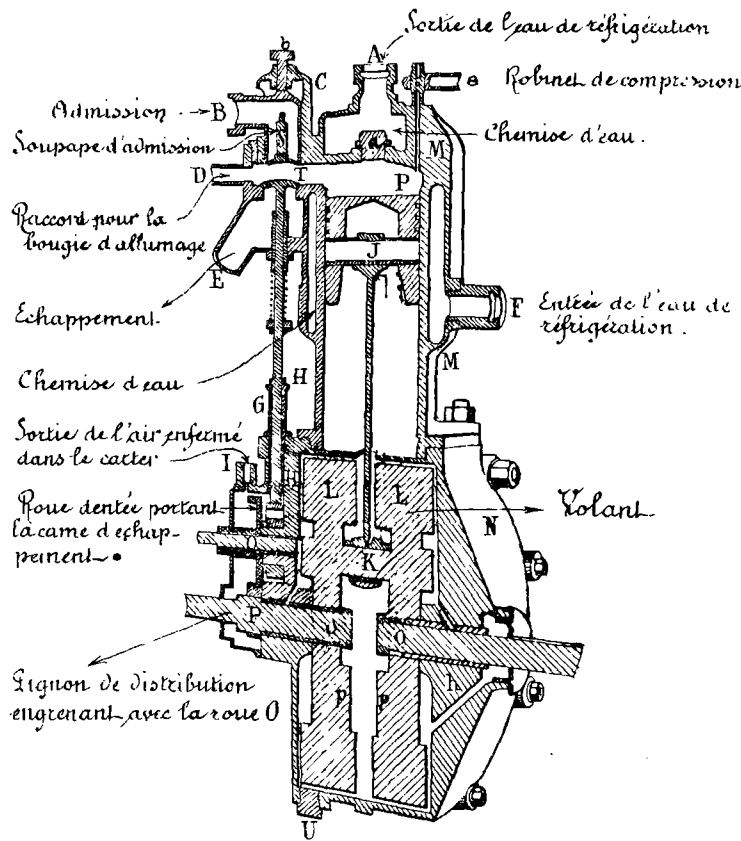


Fig. 19

Coupe verticale d'un moteur de Dion 8 chevaux
(Locomotion. 2^e Année, n° 16. p. 37).

à brionnette qui la recouvre, la vis de serrage B.

En S se trouve la soupape d'admission.

Le bouchon a fermé une ouverture qui a été ménagée au-dessous de la chambre d'explosion pour permettre le désablage du cylindre lorsqu'il est arrivé de la fonderie. En effet, les cavités des pièces fondues renferment toujours plus ou moins de sable vitrifié et de bouts de fil de fer qui ont servi au travail des fondeurs. Il faut donc que les ouvriers nettoient les cavités à l'aide de petits outils et de grattoirs

à droite se trouve un canal qui permet de mettre le cylindre en communication avec l'extérieur; grâce à lui, on empêche la compression de se produire, ce qui est utile dans un grand nombre de cas; ce canal est fermé par un robinet e en fer vissé dans la masse du cylindre.

à gauche, on voit la pipe B, la cloche C à emmanchement

qu'ils introduisent par l'orifice *a*, par les trous de raccord d'eau, et par un autre orifice non figuré et qui est ensuite bouché. Cette opération terminée, le bouchon *a* est serré vigoureusement sur un joint métallique.

L'allumage se fait par la bougie *D* non figurée et qui est vissée entre les deux soupapes.

La soupape d'échappement *T* est en nickel; elle est renforcée dans le haut, va et vient dans son guide en fonte de fer. Elle donne issue aux gaz dans un raccord en acier *E* vissé dans la culasse. La partie inférieure du guide de la tige d'échappement est également rapportée, vissée dans la matière.

Sur le carter, ou bâti du moteur est vissé le guide *G* du taquet *H* qui soulève la tige de la soupape en laissant entre elle et lui un espace d'un millimètre environ. Il est constamment maintenu par un ressort intérieur au contact de la pièce qui commande l'échappement.

Ce bâti renferme les deux volants *I, I*, qui sont symétriques et laissent passer entre eux la bielle dont la tête vient s'insérer en *K* sur un arbre cylindrique formant manchon. Chaque volant (qui est fait de fonte de fer) porte un arbre horizontal *Q, Q*. La partie inférieure des volants porte, en *pp*, une masse qui fait contre-poids au piston.

Sur toute la longueur de leur appui, les arbres *Q, Q*, le pied de bielle *J* et la tête de bielle *K* sont accompagnés de coussinets en bronze encastrés dans l'aluminium et portant des canaux de graissage.

Le bout de l'arbre *Q* de droite porte à son extrémité le pignon moteur qui n'est pas figuré. Celui de gauche porte le pignon *P* de distribution qui engrène avec la roue dentée *O* porteuse de la came

d'échappement. L'arbre G fait saillie extérieurement pour porter la came d'allumage.

Ces deux engrenages et le dispositif de régulation sont enfermés dans un renflement d'un des deux côtés du bâti qui se termine par la chambrette I dans laquelle se trouve enfermée une bille pour faire soupape. Par cet orifice s'échappe l'air qui pourrait se trouver comprimé dans la cavité des engrenages et qui empêcherait l'huile d'y suivre son cours normal.

Le graissage du moteur se fait par barbotage des volants dans l'huile. La rotation de ces volants produit une sorte d'émulsion de l'huile qui se voit, en liberté, projetée à plusieurs mètres de distance. Les boîtes sont donc pourvues d'un plafond sur lequel repose en partie le bas du cylindre et qui, laissant la place exacte au passage de la bille, suffisent encore à assurer la projection du liquide sur les parois du cylindre et dans la gouttière du palier de l'axe du piston.

Nous savons maintenant en quoi consiste un moteur d'automobile à quatre temps.

Etude de quelques-unes des conditions du fonctionnement d'un moteur d'automobile.

Étudions quelques-unes des circonstances de son fonctionnement.

On peut énoncer la proposition suivante.

Augmentation de la vitesse linéaire du piston ou du nombre de tours par minute.

On augmente la puissance d'un moteur en accroissant le nombre de tours par minute ou la vitesse linéaire du piston.

Le mélange gazeux porté à une haute température par l'explosion tend, pendant la détente, à céder à la paroi du cylindre une quantité de chaleur d'autant plus grande que cette détente s'effectue avec une moins grande vitesse, c'est à dire que le nombre des tours du moteur par minute ou la vitesse linéaire du piston sont moins considérables. Or cette quantité de chaleur cédée à la paroi est dépensée en pure perte.

Aussi M. Witz, a-t-il pu énoncer les lois suivantes :

1^{re} loi de M^e Witz. Le rendement thermique, indiqué d'un moteur va en croissant avec la vitesse linéaire du piston ou le nombre de tours par minute.

2^e loi de M^e Witz. La combustion du mélange gazeux introduit dans le moteur se fait dans un temps d'autant plus court que la vitesse linéaire du piston est plus considérable.

Dans ces conditions, le diagramme du moteur se rapproche d'autant plus du diagramme théorique (Fig. 5. p. 151).

Outre ces avantages, le moteur à grande vitesse l'emporte sur le moteur à faible vitesse de volant par sa plus grande légèreté résultant d'une notable réduction du poids du piston, de la bielle, des volants, de l'arbre, des paliers et, par suite, du cylindre et du carter.

Limitation de la vitesse linéaire du piston ou du nombre de tours du moteur par minute. Et quelle limite doit-on s'arrêter dans cet accroissement de vitesse ? C'est là une question très complexe qui est loin d'être résolue et qui a donné lieu à des polémiques assez vives entre les adversaires et les protagonistes de la voiturette, sans conduire à une conclusion bien nette méritant d'être retenue.

Cependant on peut dire que l'augmentation du nombre des tours est limitée par l'obligation de ne pas faire tourner les pièces à une vitesse qui deviendrait dangereuse pour leur résistance aux efforts d'inertie ; il ne semble pas prudent de dépasser pour le volant une vitesse périphérique de 15 à 20 mètres par seconde.

Elle est limitée aussi par ce fait que la vitesse linéaire du piston ne doit pas être trop grande. En effet, dans ce cas, pendant le 3^{me} temps de la marche du moteur (Explosion et détente) l'inflammation pourrait n'avoir pas le temps de se propager dans la masse du mélange gazeux évoluant dans le cylindre. Une partie de ce mélange viendrait faire explosion dans le tuyau d'échappement d'où on

verrait sortir des flammes; cette partie du mélange, non-seulement ne produirait aucun travail, mais donnerait naissance, au début de l'échappement, à une très forte contrepression qui diminuerait le travail et par suite la puissance fournie par le moteur.

Il est vrai que dans certains cas, on peut remédier un peu à cet inconvénient en produisant une avance à l'allumage).

L'avance à l'allumage est en effet nécessaire toutes les fois que la vitesse du moteur augmente et cette avance croît dans certaines limites en même temps que la vitesse.

Toutefois la limite pratique de la vitesse linéaire du piston paraît, d'après M. Bochet ⁽¹⁾ être aux environs de 4^m,50 à 5^m,00 par seconde, ce qui correspond à une course de 12 centimètres à une allure de 1200 tours par minute.

De l'étude publiée par M. Colardeau dans le Génie Civil (26 Janvier 1901), il résulte que la vitesse du piston par seconde doit rester comprise entre 3^m,30 et 4^m,20.

De la compression
dans les moteurs
à explosion.

Mais, cette limite, de la vitesse linéaire du piston est elle-même une fonction de la grandeur de la compression produite pendant le deuxième temps de la marche. L'importance de la compression est considérable et mérite que nous nous y arrétions. Nous pouvons, à ce sujet, énoncer les propositions suivantes.

1^o - Une augmentation de pression résultant d'une compression plus considérable favorise l'explosion du mélange gazeux introduit dans le moteur.

Un mélange gazeux qui ne fait pas explosion à une certaine température sous la pression de l'atmosphère, peut faire explosion dans les mêmes conditions si l'on élève la pression supportée par ce mélange.

⁽¹⁾ Bochet - Annales des Mines - 9^{me} série - E. 17 - 1900.

Ainsi sous la pression atmosphérique maintenue constante, l'acétylène pur ne détone pas, que l'on fasse agir sur lui une étincelle électrique ou un point en ignition. Il en est tout autrement dès que l'acétylène a une pression supérieure à 2 atmosphères; il détone alors soit sous l'action d'un point en ignition soit sous celle d'un fil de platine porté au rouge.

Dans un moteur à pétrole, il peut même arriver que le mélange gazeux s'enflamme spontanément, à la température à laquelle il est porté à la fin de la compression et sous la pression qu'il supporte à cet instant. C'est ce qui se produit par exemple dans le moteur Diesel où la pression à la fin de la compression atteint 30 ou 40 kg. par centimètre carré.

2^e — Une augmentation de pression résultant d'une compression plus considérable diminue le temps pendant lequel se produit l'explosion et augmente la pression à la fin de cette explosion.

Si on considère les diagrammes pris sur un même moteur, marchant à une vitesse déterminée, alimenté par le même mélange combustible, et fonctionnant avec des compressions de plus en plus considérables, on constate que la partie du diagramme relative à l'explosion devient d'autant plus longue et monte dans une direction qui se rapproche d'autant plus d'être parallèle à l'axe des pressions que la pression à la fin de la compression est elle-même plus considérable.

C'est ce que montrent visuellement les trois diagrammes suivants (Fig. 19^{bis}) dans lesquels les pressions à la fin de la compression ont les valeurs croissantes : 2^k,7 — 4^k,35 — 5^k,4.

Les pressions à la fin de l'explosion ont les valeurs correspondantes qui vont rapidement en augmentant : 11^k,9 — 14^k,35 — 19^k,700.

Les aires des diagrammes et les pressions moyennes suivent une marche analogue; les dernières ont les valeurs : 5^k,04 — 6^k,00 — 6^k,94. Le travail indiqué va donc en croissant avec la compression; il en est

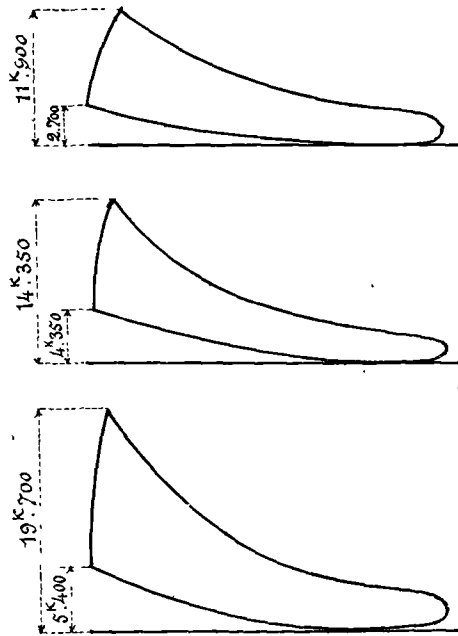


Fig. 19^{bis}

de même du rendement indiqué du moteur puisque le mélange gazeux introduit n'a varié ni de masse ni de nature. Avec la même dépense de gaz combustible, on obtient donc un plus grand travail ; par suite, pour produire un même travail, le moteur dépense d'autant moins que la compression est plus élevée.

3^e - Ainsi le moteur, marchant à une vitesse déterminée, a une puissance d'autant plus grande et fonctionne d'une manière d'autant plus économique que la compression

est plus considérable.

Mais il y a plus. L'augmentation de compression, diminuant la durée de l'explosion du mélange gazeux introduit dans le moteur, permet de donner au piston une vitesse linéaire plus grande et de faire tourner le moteur à un nombre de tours plus considérable. De ce chef, l'accroissement de la pression, à la fin de la compression a donc encore pour effet d'augmenter la puissance du moteur. Dans les moteurs actuels, la pression à la fin de la compression varie de 2,5 à 5 kilog. par cent. carré ; on peut, sans modifier beaucoup les organes, la porter utilement à 6 et même à 7 kilog.

Comment on peut
augmenter la compression.

Il est possible d'augmenter cette compression en employant les artifices suivants :

1^o - En diminuant les causes de déperdition éventuelles. On y parvient en assurant, d'une manière plus parfaite l'étanchéité des joints et en augmentant, si cela est nécessaire, l'étanchéité du piston.

Avec les compressions actuelles, les pistons glissent dans leurs cylindres avec un jeu d'environ $\frac{1}{2}$ de millimètre et sont munis de segments présentant dans leur rainure un jeu longitudinal d'environ $\frac{1}{8}$ de millim.; on peut diminuer un peu les jeux, le premier notamment. Enfin il faut que le cylindre ne présente ni ovalisation, ni rayures et que le robinet qui peut exister pour diminuer la compression lors de la mise en route, soit bien hermétique.

2^e - En diminuant le volume de la chambre d'explosion. En opérant ainsi, on diminue la quantité de gaz brûlés qui, à la fin de l'échappement, redlent dans le cylindre; on augmente la dépression créée par le déplacement du piston, pendant le premier temps (admission) et par suite on augmente le volume du mélange frais introduit; enfin on comprime dans une chambre plus petite une plus grande quantité de gaz.

Inconvénient.

de l'augmentation
de la compression.

Toutefois, il faut bien l'avouer, cette augmentation de compression présente un inconvénient: le moteur chauffe davantage. Cette augmentation de compression a pour effet d'élever la température du mélange gazeux qui cède de la chaleur à la paroi du cylindre non seulement pendant la détente, comme nous l'avons dit plus haut, mais encore pendant une partie de la fin de la phase de compression.

Il y a deux manières de combattre cet échauffement:

- a) - en activant le refroidissement des parois;
- b) - en facilitant le dégagement des gaz brûlés.

Le premier moyen conduit, soit à remplacer le refroidissement par ailettes par le refroidissement par circulation d'eau, soit à augmenter le poids de l'eau qui circule autour du moteur, quand ce mode de refroidissement est appliqué. On est ainsi conduit à accroître le poids de la voiture sur laquelle le moteur est placé. Aussi est-il préférable d'employer la seconde méthode qui conduit à augmenter le

Expulsion des gaz brûlés.

diamètre des clapets et de la conduite d'échappement.

Cette expulsion plus complète des gaz brûlés présente encore un avantage, au point de vue de l'effet de l'homogénéité du mélange introduit dans un moteur sur le rendement de ce moteur.

Il résulte d'expériences nombreuses qu'on augmente la puissance d'un moteur marchant à une certaine vitesse et alimenté avec un mélange gazeux de compression déterminée, en assurant autant que possible l'homogénéité de ce mélange.

En effet, avec un mélange homogène, l'explosion se propage facilement et rapidement dans toute la masse gazeuse. Au contraire, si le mélange est formé de couches, plus riches en gaz combustible et de couches plus pauvres, celles-ci peuvent arrêter la propagation de l'explosion; une partie du mélange introduit peut sortir du moteur sans être brûlé; il peut y avoir des ratés.

Or il en est ainsi lorsque la culasse du cylindre contient à la fin de la série des quatre temps de la marche une grande quantité de gaz brûlés. Ces gaz ne se mélangent pas avec la masse de gaz frais nouvellement introduite et donnent une cylindrée hétérogène dans laquelle l'explosion ne se propage pas avec une grande facilité. Dès lors, il peut arriver qu'à la fin du troisième temps le mélange introduit ne soit pas complètement brûlé. On peut, il est vrai remédier en partie à cet inconvénient en produisant une certaine avance à l'allumage, mais l'efficacité de cette solution du problème est limitée. Aussi un certain nombre de constructeurs se préoccupent-ils non seulement de faciliter le dégagement des gaz brûlés, mais encore de procéder à leur expulsion intégrale.

Le moyen le plus répandu consiste à provoquer une chasse d'air pur dans le cylindre à la fin de l'échappement. Lorsque l'introduction du mélange neuf commence, celui-ci se mélange avec l'air

qu'il trouve dans la culasse. Le mélange neuf étant dosé en conséquence, on obtient finalement dans le moteur un mélange tonnant dont la composition est celle qui convient aux meilleures conditions de la combustion. Mais ce procédé ne pourrait remédier aux défauts que nous avons signalés que si la masse du mélange gazeux se trouvant dans le cylindre pouvait être brassée de façon à devenir absolument homogène. Ce brassage étant impossible, on se retrouve, comme précédemment, en présence d'un milieu hétérogène dans lequel l'explosion ne peut souvent que difficilement se propager.

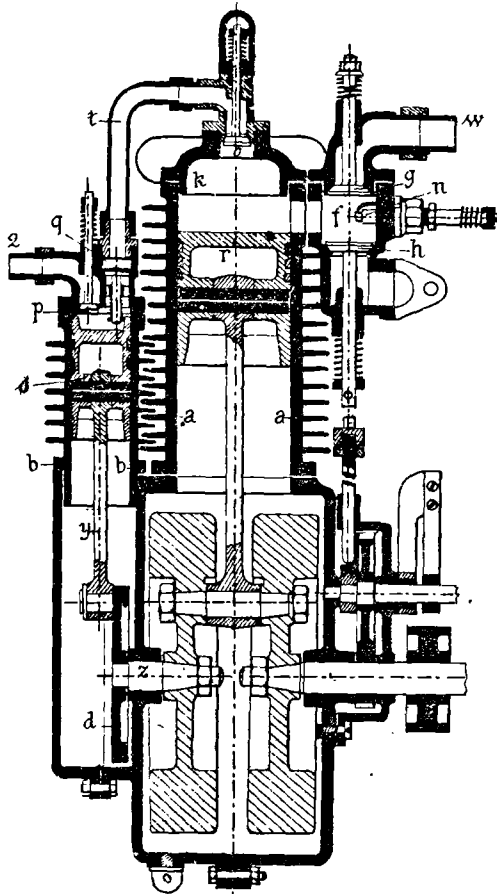
Au contraire, on évite cette hétérogénéité quand, au lieu de faire la chasse des gaz brûlés avec de l'air pur, on effectue cette chasse au moyen du mélange tonnant que l'on introduit normalement dans le cylindre. C'est ce qu'a fait M. Charles Caille dans le moteur suivant. ⁽¹⁾

Moteur
Charles Caille.

Un petit cylindre supplémentaire B est adjoint au cylindre principal A. Le piston S qui y évolue, a la même course que le piston P du cylindre principal. Le cylindre B représente une pompe d'alimentation refoulant périodiquement dans le grand cylindre des charges de mélange frais qui, après avoir expulsé les résidus de la combustion, s'ajoutent au mélange frais aspiré par le piston P. En outre, pendant que s'opère la compression, un nouvel appoint de mélange tonnant est refoulé dans le grand cylindre par le piston S.

Les mouvements des deux pistons sont synchronisés. Celui de la pompe est commandé par la bielle Y et par un bouton de manivelle assujéti au plateau D que porte le touxillon Z. La boîte à soupapes du cylindre principal ne diffère en rien de celle que nous avons décrite plus haut (moteur de Dion) et qui est, en somme, celle qui est généralement employée. Elle comporte la soupape d'échappement H commandée

(1) Le moteur Charles Caille (Locomotion - 2^e année. N° 50 p. 587).



Légende.

- a, cylindre principal
- b, cylindre supplémentaire
- s, piston du cylindre supplémentaire.
- r, piston du cylindre principal.
- y, bielle du piston s
- d, plateau porté par le touillon z
- f, boîte à soupapes du cylindre principal
- h, soupape d'échappement.
- n, bougie d'allumage.
- g, soupape d'admission
- w, conduit au carburateur
- k, culasse du cylindre principal
- o, clapet s'ouvrant vers l'intérieur du cylindre principal.
- p, clapet d'aspiration du cylindre secondaire b
- q, clapet de refoulement du cylindre secondaire b
- t, tube de communication du cylindre b, avec le cylindre a.

Fig. 20.

Moteur Charles Caille
(Locomotion, n° 50 page 587.)

par la distribution, la bougie d'allumage n et le clapet d'admission g mis en communication avec le carburateur par un tube w.

Dans le fond de la culasse k, un clapet o peut s'ouvrir vers l'intérieur pour livrer passage aux charges additionnelles fournies par le cylindre b. Ce cylindre dispose de deux clapets : l'un d'aspiration p communique avec le carburateur par le tube z, l'autre de refoulement q dont la communication avec la soupape o est assurée par le tube t.

Voici quel est le fonctionnement du moteur.

1^{re} Phase. Le piston *r* du cylindre principal aspire une charge de mélange tonnant pénétrant dans le moteur par le clapet *g*; le piston *s* aspire également du mélange frais affluant dans son cylindre par le clapet *p*.

2^{me} Phase. Le piston *r* comprime la charge précédemment admise; le piston *s* refoule en le comprimant par les clapets *q* et *o* et par le tube *t*, le mélange qui se trouve dans le cylindre *B*. Ce mélange pénètre dans le cylindre *A* et s'ajoute à la cylindrée.

La soupape *o* se ferme au moment de l'explosion.

3^{me} Phase. Le piston *r* est repoussé par l'explosion et les gaz brûlés se détendent dans le grand cylindre.

Le piston *s* aspire du mélange frais.

4^{me} Phase. L'échappement se produit dans le cylindre principal.

Le piston *s* comprime le mélange frais dans le cylindre *B*; les clapets *q* et *o* s'ouvrent de nouveau et donnent accès dans le cylindre *A* à un nouvel appoint de mélange tonnant, qui refoule complètement les gaz brûlés et les chasse au dehors par l'orifice découvert à ce moment-là par la soupape d'échappement, le volume de la culasse étant approximativement égal au volume engendré par le piston *s*.

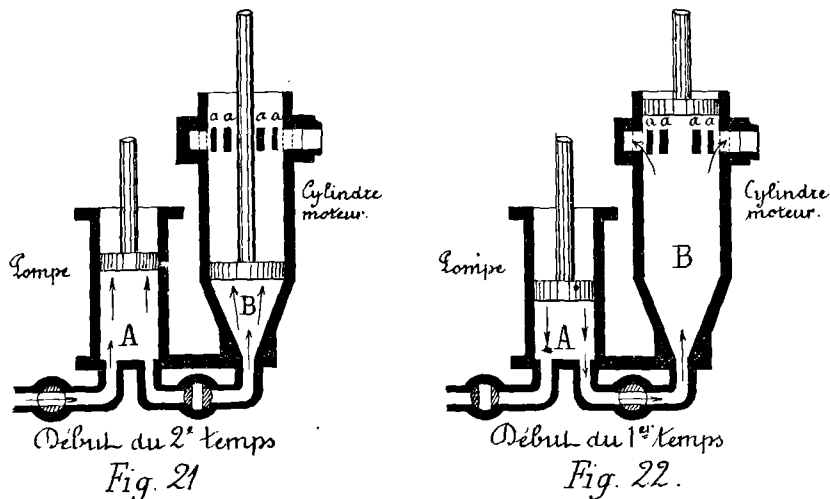
Moteur
à deux temps.

Nous venons d'étudier le moteur à quatre temps; comme nous l'avons dit au début de ce chapitre, il est presque exclusivement employé dans les moteurs d'automobiles. Cependant on lui reproche de n'avoir qu'une course motrice sur quatre ou sur deux tours de l'arbre, ce qui conduit à augmenter la masse du volant, qui doit, par son inertie, effectuer l'aspiration, la compression et le refoulement des gaz. Aussi, certains constructeurs se sont-ils efforcés de remplacer ce moteur par un autre, qui présente une course motrice par tour de l'arbre; ils ont en même temps parvenu à supprimer les soupapes d'échappement.

Ce moteur, à deux temps se compose essentiellement de deux cylindres parallèles; l'un A est une pompe, l'autre B est le cylindre-moteur. Les manivelles qui commandent les bielles des deux pistons sont à peu près à 90° l'une de l'autre, c'est à dire que lorsque l'un des pistons est à une extrémité de sa course, l'autre est à peu près à la moitié de la sienne. Dans une première course, le piston aspire le mélange tonnant venant de l'extérieur; pendant cette opération (Fig. 21), la communication entre les cylindres A et B est interceptée. Le piston A arrive à l'extrémité de sa course, puis revient en comprimant le mélange tonnant neuf; lorsqu'il est à la moitié de sa course de retour, le piston B arrive à l'extrémité de la sienne et découvre des ouvertures a (Fig. 22) communiquant avec l'air extérieur; en même temps, la communication entre les deux cylindres est établie. Le mélange tonnant entre dans le cylindre B et pousse devant lui les gaz de la combustion qui s'échappent par les ouvertures a.

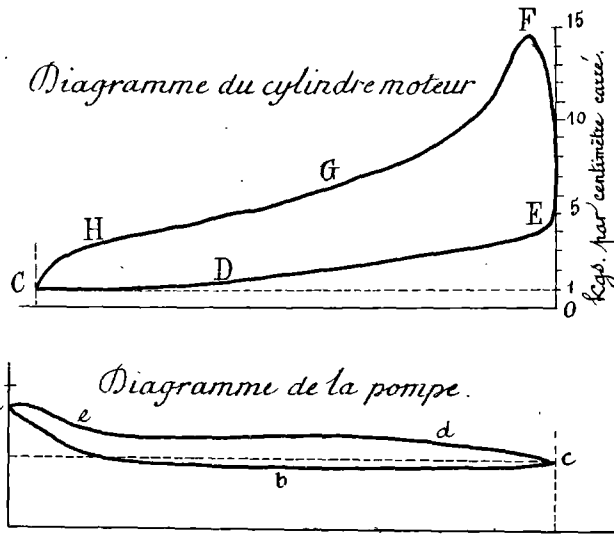
Le piston B revient en arrière et ferme les ouvertures a avant que le mélange neuf ne s'échappe à l'extérieur.

Schéma d'un moteur à deux temps.



Ce mélange est alors comprimé dans le cylindre B (communication interrompue entre les deux cylindres). Au début de la course suivante, il est allumé; puis les gaz brûlés se détendent en poussant le piston B. On voit donc que l'on a une course motrice par tour de la machine.

Nous avons représenté dans la figure 23 le diagramme de la pompe et celui du cylindre-moteur.



CD, passage du mélange neuf de la pompe dans le cylindre moteur	}	1 ^{er} temps		abc, 1 ^{re} course, 1 ^{er} temps Aspiration du mélange gazeux neuf
DE, compression dans le cylin- dre moteur				edea, 2 ^e course, 2 ^e temps. Compression du mélange neuf, passa- ge de ce mélange de la pompe dans le cylindre moteur.
EF, explosion	}	2 ^e temps		
FGHC, détente et évacuation				

Fig. 23

A ce type appartient le moteur X de M^e Lepape, qui a été très remarqué au Salon de l'Automobile de 1901. Dans ce moteur extrêmement simple, le calage des têtes de bielle n'est pas exactement 180°, de telle sorte que le piston côté A (pompe) est arrivé au sommet du cylindre alors que celui du côté B (cylindre-moteur) doit descendre encore quelque peu, comme le montre la figure 24.

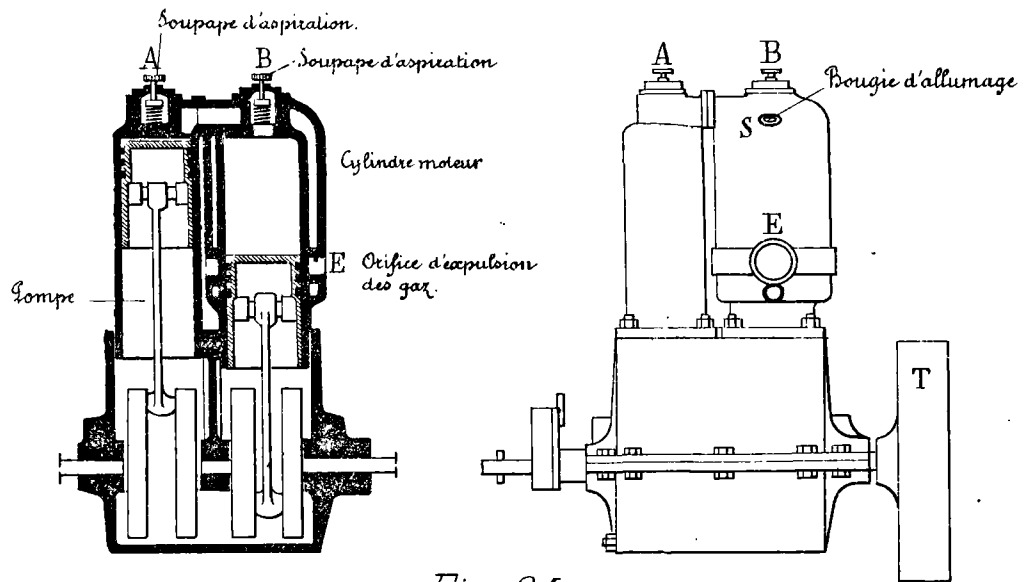


Fig. 24

Moteur Lapeyre, à deux temps, de 12 chevaux.

(Locomotion. n° 13.28 X^{bre} 1901. p. 207)

§ 2 — Le refroidissement des moteurs.

L'explosion produite dans un moteur dégage une grande quantité de chaleur dont une partie est transformée en travail utile mais dont l'autre partie, cédée aux parois de la chambre d'explosion, du cylindre, de la boîte à clapets, contribue à les échauffer. Cet échauffement ne tarderait pas à porter ces parois à une température incompatible avec le bon fonctionnement du moteur, si des dispositions n'étaient prises pour rafraîchir constamment ces surfaces. En effet, par suite de la trop grande élévation de température, des parois du moteur, on serait en butte à une série d'effets fâcheux dont les principaux sont les suivants.

Effets produits par une trop grande élévation de température des parois.

1° Il serait impossible d'assurer le graissage des cylindres, car les huiles les plus résistantes se décomposent à 300° et donneraient des dépôts charbonneux nuisibles au bon fonctionnement des soupapes et du moteur en général ;

2^e - Les dilatations très grandes et inégales dans les pièces très bien ajustées, notamment dans le cylindre et le piston, gênaient le jeu du moteur;

3^e - On pourrait craindre le grippage du piston, le soudage de la tête de bielle et de la manivelle, la mise hors d'état des soupapes, surtout de celles d'échappement. (Deux heures de marche, à une température trop élevée suffisent pour produire ce dernier inconvénient).

Mais si, comme on le voit, le refroidissement est nécessaire, il ne faut pas qu'il soit poussé au delà de certaines limites. En effet, par suite de ce refroidissement, une plus grande quantité de la chaleur produite par l'explosion serait cédée aux parois en pure perte, c'est à dire sans produire de travail utile et le rendement du moteur en serait diminué. Malheureusement on n'est pas très bien fixé sur le taux limite de ce refroidissement, qui constitue une des grosses imperfections des moteurs à pétrole actuels.

Conditions que doit remplir un bon refroidissement.

Quoiqu'il en soit, le mode de refroidissement que l'on met en œuvre doit satisfaire à certaines conditions dont les principales sont les suivantes.

1^o - Le refroidissement ne doit être ni trop énergique ni insuffisant;

2^o - Le refroidissement doit être indépendant de l'allure du moteur et par suite de celle de la voiture.

Supposons en effet que le refroidissement soit d'autant plus actif que la vitesse de rotation du moteur est plus grande et inversement. Lorsque le moteur ralentit, par exemple lorsque la voiture qu'il actionne monte une côte un peu dure, le refroidissement ne se fait plus avec la même activité et le moteur s'échauffe. Si, après s'être ralenti, le moteur se met à tourner plus vite, le refroidissement augmente brusquement d'intensité, le moteur se refroidit également très vite; mais, la paroi de ce moteur se refroidissant avant le piston,

celui-ci tend à coincer dans le cylindre par suite des dilatations produites pendant l'échauffement. Le meilleur mode de refroidissement est celui dans lequel on évite ces changements brusques, celui dans lequel les parois du cylindre sont maintenues à une température aussi uniforme que possible.

Modes de refroidissement des moteurs d'automobiles. Les procédés de refroidissement des moteurs d'automobiles se divisent en deux grandes catégories :

1° - les procédés dans lesquels le cylindre cède directement de la chaleur à l'air ambiant ou à des gaz froids que l'on introduit à son intérieur ;

2° - les procédés dans lesquels le cylindre cède directement de la chaleur à de l'eau que l'on met en contact avec lui soit à l'intérieur soit à l'extérieur.

Refroidissement par l'air. Le refroidissement par l'air peut se faire soit par l'intérieur du cylindre, soit par l'extérieur, soit même par les deux côtés à la fois.

Refroidissement intérieur. Lorsque, pendant le fonctionnement du moteur, on produit l'évacuation des gaz brûlés par une chasse d'air pur comme dans les moteurs à deux temps ou par une chasse du mélange tombant introduit dans le cylindre, comme dans le moteur Charles Caille, on refroidit par là même les parois du cylindre.

Refroidissement extérieur. Mais le mode de refroidissement par l'air le plus employé est celui dans lequel les parois extérieures du cylindre cèdent directement de la chaleur à l'air ambiant. Pour rendre cette action plus efficace, on augmente la surface refroidissante en munissant le cylindre d'ailettes convenables.

Ces ailettes sont le plus souvent en fonte, faisant partie intégrante du cylindre. M. Moreau emploie des ailettes en cuivre forcées autour du cylindre ; dans le moteur Papillon, celui-ci est entouré de

véritables frettes en cuivre, qui ont l'avantage de lui assurer une plus grande résistance en même temps qu'un refroidissement plus efficace, le cuivre étant meilleur conducteur que la fonte.

M^r Grivel est en train d'expérimenter des ailettes en aluminium, contourant en spirales le cylindre. Dans le moteur l'Adler, les ailettes en cuivre sont gaufrées de manière à augmenter leur surface.

On sait que le pouvoir émissif d'un corps pour la chaleur est variable avec la nature de sa surface; un métal qui, poli, a un pouvoir émissif égal à 12, en prend un égal à 100, quand il est recouvert de noir de fumée; dans les mêmes conditions, d'une part, de différence de température entre un corps et le milieu qui l'entourne et d'autre part de position par rapport aux corps extérieurs, un corps recouvert de noir de fumée se refroidit plus vite qu'un corps dont la surface est polie. De là l'idée présentée récemment par M^r Huber-Baudry de l'intérêt qu'il y aurait à peindre en noir ou en blanc le cylindre des moteurs à pétrole. Mais il ne faut pas oublier que les corps qui, dans certaines conditions, émettent le plus de chaleur sont aussi ceux qui, dans les mêmes conditions, absorbent plus facilement cette chaleur. Or, comme le fait remarquer M^r J. Lavergne⁽¹⁾, n'y a-t-il pas à craindre avec la juxtaposition des ailettes que la chaleur cédée par l'une soit prise par la voisine?

D'autre part, il est essentiel pour obtenir un bon refroidissement par les ailettes, de renouveler l'air autour du cylindre, de rendre aisée la circulation de cet air autour de sa surface. Or on peut se demander si la peinture, en rendant cette surface plus

(1) G. Lavergne - Manuel théorique et pratique de l'automobile sur Route. p. 133 (Paris - Ed. Béranger - 1900).

M^r Lavergne semble préférer le procédé de M^r Sire qui consiste à recouvrir galvaniquement de cuivre mas les parties du cylindre.

rugueuse, ne tendrait pas à gêner cette circulation.

Certains constructeurs emploient, pour activer la circulation de l'air autour des ailettes, un ventilateur actionné par le moteur. M.^r Cebot dirige sur la culasse un jet d'air produit par le jeu du piston dans le carter : le fluide, aspiré pendant la course ascendante, commence par refroidir l'intérieur du cylindre; lors de la course descendante, il est projeté sur la culasse par l'intermédiaire d'un tube recourbé; il donne ainsi lieu à une double utilisation. ⁽¹⁾

M.^r Klaus fait agir sur les ailettes les gaz de l'échappement de manière à produire autour d'elles une circulation d'air plus active; mais il vaudrait mieux, semble-t-il, leur éviter le contact même de ces gaz qui, au sortir du silencier, sont encore très chauds, et les employer à provoquer un courant d'air frais. C'est ce que M.^r Lepape a fait dans certaines de ses voitures; le moteur placé verticalement à l'avant, est entouré d'une gaine dans laquelle les gaz de l'échappement produisent ce courant d'air frais.

Enfin il n'est pas toujours nécessaire de disposer ces ailettes sur tout le pourtour du cylindre. Pour les moteurs destinés aux bicyclettes, il suffit de refroidir ainsi la culasse, c'est à dire la chambre d'explosion et les boîtes de soupapes. Tel est le moteur monocylindrique de deux chevaux de la bicyclette Minerva type 1903; tel est aussi le moteur monocylindrique de 1, $\frac{1}{4}$ de Dion-Bouton type 1903.

Refroidissement
par l'eau.

Dès que la puissance du moteur dépasse 3 à 4 $ch^{\frac{1}{2}}$, le refroidissement par les ailettes devient insuffisant et on est obligé de refroidir le cylindre avec de l'eau.

Les procédés qui consistent à injecter de l'eau à l'intérieur du cylindre ne se sont pas répandus. Le refroidissement par l'eau se

⁽¹⁾ G. Laveigne - Sur le refroidissement des moteurs (Locomotion. - 2^{me} année - N° 17. p. 58)

soit uniquement en mettant cette eau en contact avec la paroi extérieure du moteur.

Modes de refroidissement par l'eau. A ce point de vue, deux modes de refroidissement peuvent être employés. On peut :
ou bien faire circuler autour du moteur de l'eau qui se réchauffe à son contact pour aller se refroidir dans un appareil convenable appelé Radiateur ;
ou bien vaporiser cette eau au contact des parois chaudes du moteur et utiliser ainsi sa chaleur de vaporisation.

Refroidissement par vaporisation de l'eau. Le dernier mode de refroidissement est certainement celui qui répond le mieux aux conditions que nous avons indiquées plus haut comme devant être remplies par le procédé de refroidissement qui doit être employé sur un moteur d'automobile. En effet, sous l'action de la température élevée des parois du cylindre, l'eau soumise à la pression de l'atmosphère entre en ébullition à 100° environ et maintient aux parois du moteur une température constante quel que soit son régime. Dans ces conditions, le constructeur sait donc exactement, quand il calcule ses pièces, à quelles dilatations et à quels retraites elles seront soumises ; il peut donc assurer leur ajustage d'une façon plus précise.

Le refroidissement par évaporation est employé par les voitures - A. Bollée que construisent les ateliers de Dietrich et les voitures Delahaye. Décrivons le dispositif - A. Bollée. ⁽¹⁾

Un réservoir ou bassin dont la sortie est tamisée par une crépine (Fig. 25) amène par gravité de l'eau jusqu'à un flotteur situé sur le flanc du moteur à hauteur de la culasse. Lorsque la chambre qui entoure la culasse est remplie, le flotteur obture l'arrivée d'eau. Le liquide s'échauffe dans le moteur ; la vapeur se forme, monte dans

¹⁾ Baudry de Saunier. — L'automobile théorique et pratique. Voitures à pétrole — p. 371.

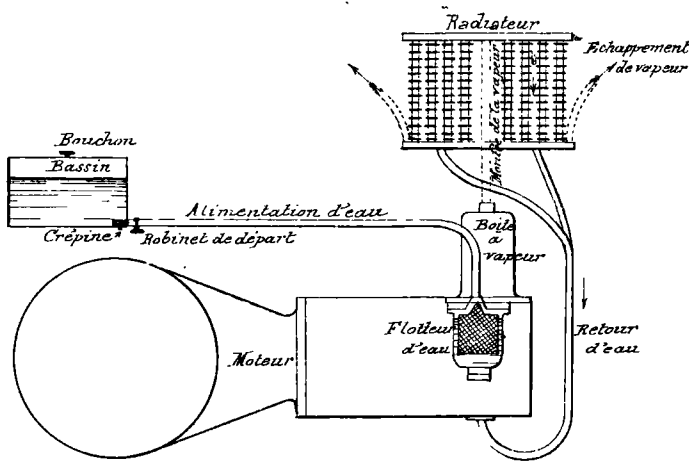


Schéma du dispositif de Refroidissement dans le moteur Dietrich.

(Baudry de Saunier - L'automobile théorique et pratique - Voitures à pétrole, p.371)

Fig.25

une boîte à vapeur située au-dessus des culasses et de là dans le Radiateur; ce radiateur est formé d'une série de tubes métalliques munis d'ailettes qui augmentent leur surface de contact avec l'air. Au contact de ces tubes froids, la vapeur se condense en eau qui redescend au mo-

teur. Lorsque la production de vapeur est trop grande pour la surface de condensation, une partie sort à l'extérieur. Le flotteur d'eau laisse immédiatement entrer dans la culasse une quantité d'eau nouvelle en remplacement de celle qui fait défaut.

Quand la voiture marche vite, la condensation se fait sans difficulté. Quand elle marche lentement, la condensation s'effectue moins bien, parce que, la circulation d'air autour des tubes du radiateur étant moins active, ces tubes se trouvent à une température plus élevée. Mais il ne résulte de là aucun inconvénient grave. La production de vapeur devenant trop grande par rapport à la condensation, de forts jets de vapeur sortent sous la voiture, mais la température de l'enveloppe du moteur demeure égale à 100 degrés.

Refroidissement par circulation d'eau autour des parois du moteur.

La circulation de l'eau autour des parois du moteur peut se faire soit en utilisant des variations de densité, soit au moyen d'une pompe.

Thermo-siphon.

La première méthode, dite du Thermo-siphon, est en principe la suivante: L'eau qui circule autour des parois du cylindre et en communication avec un réservoir plein d'eau qui peut être refroidi au moyen de tubes à ailettes et constitue par suite un radiateur. L'eau chaude plus légère que l'eau froide occupe la partie supérieure du radiateur dont la partie inférieure est pleine d'eau froide. Le radiateur étant en charge sur le cylindre du moteur, sa partie supérieure communique avec la partie la plus élevée de l'enveloppe du moteur et sa partie inférieure communique avec la plus basse. L'eau qui s'est échauffée au contact des parois du cylindre, se rend dans la partie supérieure du radiateur tandis que l'eau froide s'écoule de sa partie inférieure et vient remplir l'enveloppe à refroidir.

Pour que la circulation d'eau soit suffisamment active, il faut qu'il y ait une dénivellation suffisamment grande entre la partie supérieure du cylindre et le niveau de l'eau dans le radiateur; c'est de cette charge d'eau que dépend, toutes choses égales d'ailleurs (section des canaux d'écoulement; état intérieur et forme de ces canaux, etc...) la vitesse de circulation de l'eau et par suite l'abaissement de la température de la paroi du cylindre. Quand on emploie des moteurs verticaux, on est ainsi conduit à élever d'une quantité assez grande, le radiateur au-dessus du plan moyen de la voiture; or ce radiateur possède un poids assez considérable qui peut contribuer à élever le centre de gravité du véhicule alors que la stabilité de celui-ci exige que l'on abaisse ce centre de gravité. La dénivellation nécessaire dont nous venons de parler ne pouvant être grande, on est obligé, pour ne pas diminuer la vitesse de circulation de l'eau par des courbes et des rétrécissements de section, d'employer des tuyaux de grand diamètre qui sont très coûteux. Ce principe du thermo-siphon est appliqué, dans la voiture Renault 1902, au refroidissement du moteur de Dion-Bouton de 8 chevaux disposé verticalement à l'avant de la voiture.

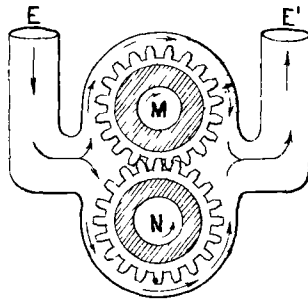
Circulation d'eau obtenue au moyen d'une pompe.

La circulation d'eau autour du cylindre d'un moteur d'automobile est généralement obtenue au moyen d'une pompe.

On emploie plusieurs sortes de pompes :

- 1^o - les pompes dites à engrenages ;
- 2^o - les pompes dites centrifuges ;
- 3^o - les pompes rotatives jouant un rôle analogue aux pompes à piston.

Dans les pompes à engrenages (Fig. 26) le mouvement du liquide est produit par la rotation de 2 roues dentées qui engrenent ensemble.



Coupe schématique d'une pompe à engrenages.

(Baudry de Saunier - L'automobile théorique et pratique - Voitures à pétrole. - p. 97.)

- E, entrée de l'eau
- E', sortie de l'eau.
- M, engrenage supérieur commandé.
- N, engrenage inférieur de commande, entraîné par le moteur.

Fig. 26

vers le point matériel et égale à $m \omega^2 r$ en désignant par r la distance à l'axe du point considéré.

Cette force a reçu le nom de force centrifuge.

Principe de la pompe centrifuge.

Ceci posé, considérons un tambour fixe fermé de toutes parts et plein d'eau. Par un moyen quelconque, imprimons à cette masse d'eau un mouvement rapide de rotation autour de l'axe de ce tambour. Par suite des forces centrifuges développées en chaque point de la masse d'eau par sa rotation, la pression exercée sur un élément de surface va en

Force centrifuge.

Mais les pompes qui sont les plus employées sont les pompes centrifuges. Nous allons insister un peu sur le principe de ces pompes qui jouent actuellement un si grand rôle non seulement dans l'automobilisme mais dans l'industrie en général.

On sait qu'un point matériel de masse m , assujéti à tourner autour d'un axe avec une vitesse angulaire uniforme ω , peut être considéré comme soumis à l'action d'une force dirigée de l'axe

augmentant quand on s'éloigne du centre de rotation vers la circonférence du tambour.

Si un tuyau T est implanté dans la circonférence extérieure du tambour, tandis que la partie voisine de l'axe de rotation est en relation avec un tuyau d'aspiration T' , il y aura, par suite du mouvement de rotation de l'eau, aspiration par le tuyau T' et refoulement de l'eau aspirée dans le tuyau T .

C'est le principe des pompes rotatives dites à force centrifuge.

Schéma d'une pompe centrifuge.

L'organe principal de ces espèces de pompes est une roue à aubes courbes telle que B, C , mobile autour d'un axe horizontal projeté en A (Fig. 27). La roue est divisée en deux parties par une cloison verticale et les couronnes dans lesquelles les aubes sont emboîtées, présentent de chaque

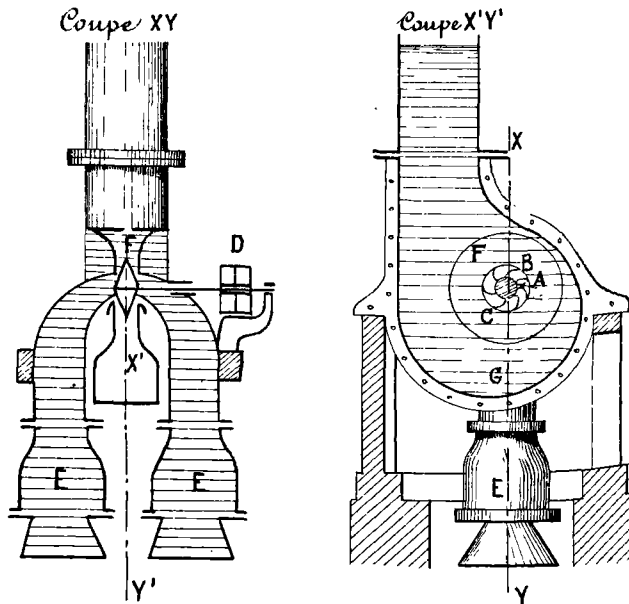


Figure schématique d'une pompe rotative à force centrifuge.

Pompe bilatérale possédant deux cuïes ou orifices d'aspiration.

Fig 27

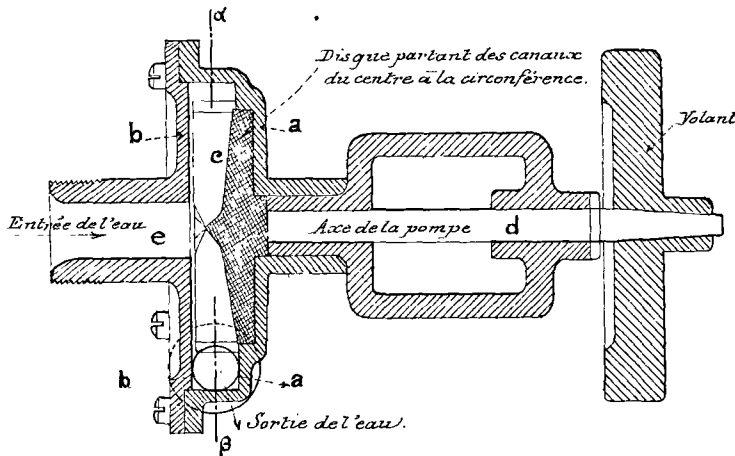
côté de la roue un large orifice circulaire communiquant avec un tuyau d'aspiration E , par lequel l'eau peut arriver sur les aubes. Lorsque la roue est animée d'un mouvement de rotation rapide, elle entraîne dans son mouvement l'eau en contact avec les aubes, et par l'effet de la force centrifuge, ce liquide est projeté du centre à la circonférence, refoulé dans l'espace annulaire F .

qui entoure la roue et de là dans le tuyau d'ascension qui communique avec cet espace annulaire. En même temps que la rotation de la roue projette l'eau vers la circonférence, elle produit, du côté du centre une aspiration qui fait monter l'eau du puits et sur la roue par les tuyaux *H, H'*.

La pompe que nous venons de décrire a une roue qui possède deux orifices d'entrée de l'eau. On dit que cette pompe est bilatérale ou encore qu'elle possède deux ouïes, en donnant le nom d'ouïe à chaque orifice d'entrée.

Lorsqu'une pompe ne possède qu'une ouïe on dit qu'elle est unilatérale.

Cel est le cas de la pompe Grouvelle dont les figures 28 et 29 font bien comprendre le principe. Cette pompe se compose d'un corps *a* muni d'un couvercle *b*, dans lequel tourne un disque *c* monté sur l'arbre *d*. Dans l'épaisseur de ce disque sont creusés des canaux allant

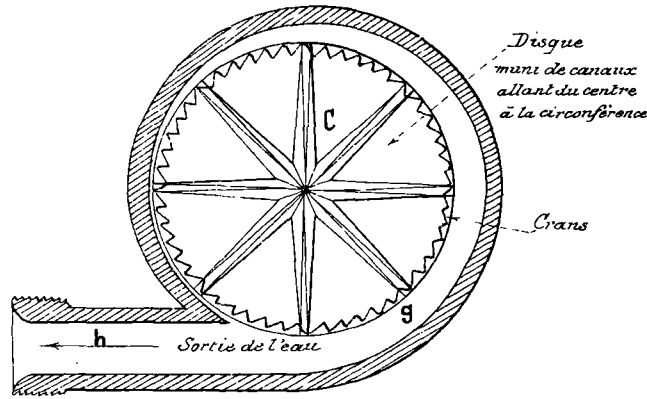


du centre à la circonférence et ayant des dimensions et des formes convenables. L'eau, par la tubulure *e*, arrive au centre du plateau, se répand dans les canaux et est projetée par la force centrifuge dans un espace annulaire en forme

Pompe centrifuge.

(Maurice Garman. Manuel pratique du constructeur d'automobiles à pétrole. p. 188.)

Fig. 28



de colimaçon g pour s'échapper par la tubulure h . La périphérie du disque est munie de crans pour produire l'entraînement de l'eau.

M^r Râteau⁽¹⁾, ingénieur des Mines, a fait une étude très soignée des ventilateurs et pompes centrifuges. Bien que

cette question n'intéresse pas directement l'automobilisme, je crois intéressant de résumer les propriétés principales des ventilateurs et pompes centrifuges telles qu'elles résultent des travaux de M^r Râteau.

Débit.
Hauteur d'élevation.

Considérons une pompe déterminée; nous appelons débit Q de l'appareil le nombre de litres d'eau qu'il est capable de déverser par seconde dans un réservoir convenable. D'autre part, nous appelons hauteur d'élevation H ou hauteur représentant la pression totale donnée par la machine, la somme en mètres de la hauteur d'aspiration et de la hauteur de refoulement.

Variables dont dépendent Q et H .

Ce débit et cette pression, d'une pompe, dont la roue mobile tourne à une vitesse constante dépendent :

- 1^o - de la vitesse de rotation de la machine;
- 2^o - des conditions dans lesquelles se présente le circuit extérieur où la pression H est utilisée. Si l'on modifie ce circuit extérieur, soit en faisant varier sa forme, soit en faisant varier sa hauteur, le débit et

⁽¹⁾ Râteau - Ventilateurs et pompes centrifuges pour hautes pressions mus par turbines à vapeur ou par moteurs électriques (Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. T. 100 - Décembre 1901 - p. 728)

La pression variera aussi. Le débit par exemple, peut varier entre 0 et un certain maximum Q_m qui est obtenu lorsque, l'appareil étant mis dans la situation que, par analogie avec l'électricité, M^e Râteau appelle le court circuit, la hauteur H de pression est nulle.

Courbes donnant en fonction du débit Q :

- (α) la pression H ,
- (β) la puissance P_m ,
- (γ) le rendement mécanique ρ ,

Nous pouvons construire des courbes en portant :

en abscisse ; le débit Q de l'appareil ;

en ordonnée : (α) soit la pression correspondante H donnée par la machine (la vitesse de rotation restant constante) ;

(β) soit la puissance P_m transmise à l'arbre ;

(γ) soit le rendement mécanique ρ de la machine, c'est à dire le rapport entre le travail utile

$\omega Q H$ (ω poids de l'unité de volume du liquide)

et la puissance P_m transmise à l'arbre.

Si ces courbes affectent une forme variable suivant le système de pompe et suivant la vitesse de rotation, leur allure générale est toujours la suivante :

1^o - La courbe des hauteurs de pression a une forme parabolique avec un sommet plus ou moins aplati ;

2^o - La courbe de la puissance transmise à l'arbre est assez voisine d'une droite allant en s'élevant à mesure que le débit croît ; (suivant la forme des augets de la roue mobile, cette courbe de la puissance transmise monte plus ou moins vite qu'une droite) ;

3^o - La courbe du rendement mécanique affecte toujours la forme d'une sorte de parabole par l'origine et par le point du débit limite Q_m ; le sommet de cette parabole correspond au rendement maximum de la machine.

Il faut, autant que possible, dans la pratique, mettre l'appareil dans cette condition de rendement maximum afin d'en tirer le meilleur parti. C'est ce que M^e Râteau appelle la Marche normale de la

machine. On peut énoncer sur ces conditions de marche de la machine les propositions suivantes :

a) Pour une machine déterminée et pour une vitesse de rotation donnée, il y a, en marche normale, un débit déterminé et une hauteur d'élevation parfaitement déterminée;

b) Ces conditions de la marche normale changent avec la vitesse de rotation et avec les dimensions de l'appareil quand on le modifie tout en le laissant semblable à lui-même.

Coefficients indépendants, pour un type d'appareils, de la vitesse de rotation et de la grandeur de la machine. Toutefois, on peut avoir des coefficients indépendants de la vitesse de rotation et de la grandeur de la machine en divisant le débit Q , la hauteur H et la puissance P_m par des puissances convenables de la vitesse périphérique u et du rayon r de la roue mobile. Ces coefficients ^{qui} sont alors caractéristiques de chaque type d'appareil, ⁽¹⁾ sont, d'après M. Rateau

le rendement mécanique : $\rho = \frac{\omega Q H}{P_m}$

le coefficient de débit $\delta = \frac{Q}{u r^2}$

le coefficient manométrique $\mu = \frac{g H}{u^2}$ (g , intensité de la pesanteur)

le coefficient de la puissance transmise : $\tau = \frac{g P_m}{\omega u^3 r^2} = \frac{\mu \delta}{\rho}$

(1) En employant les équations de dimensions, il est facile de prouver que ρ, δ, μ, τ sont des nombres abstraits.

En effet, les dimensions des diverses grandeurs qui entrent dans la définition de ces coefficients sont les suivantes :

(ω) = $\frac{MLT^{-2}}{L^2}$ (Q) = $\frac{L^3}{T}$ (H) = L (P_m) = ML^2T^{-3} (u) = LT^{-1} (r) = L (g) = LT^{-2}

$$\rho = \frac{\frac{MLT^{-2}}{L^2} \times \frac{L^3}{T} \times L}{ML^2T^{-3}} = \frac{ML^2T^{-3}}{ML^2T^{-3}}$$

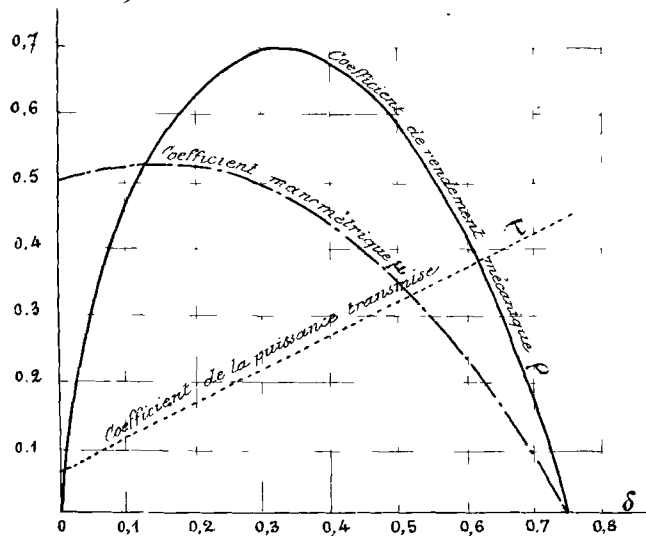
$$\delta = \frac{L^3T^{-1}}{LT^{-1} \times L^2} = \frac{L^3T^{-1}}{L^3T^{-1}}$$

$$\mu = \frac{LT^{-2} \times L}{L^2 \times T^{-2}} = \frac{L^2T^{-2}}{L^2T^{-2}}$$

$$\tau = \frac{LT^{-2} \times ML^2T^{-3}}{\frac{MLT^{-2}}{L^2} \times L^3T^{-3} \times L^2} = \frac{MLT^{-2}}{MLT^{-2}}$$

Si on construit des courbes en portant en abscisses le coefficient de débit δ et en ordonnées soit le rendement mécanique, soit le coefficient manométrique, soit le coefficient de la puissance transmise, on obtient des graphiques qui sont caractéristiques de chaque type d'appareil.

Nous avons, d'après M^E Râteau, reproduit deux de ces graphiques: l'un relatif à une pompe centrifuge Râteau pour petites hauteurs d'élevation et l'autre relatif à un ventilateur centrifuge de mine, système Râteau.⁽¹⁾ (Fig. 30 et 31).



Courbes Caractéristiques d'une pompe centrifuge système Râteau pour petites hauteurs d'élevation.
Fig. 30.

En voit par ces deux exemples, que les courbes, quoique ayant la même allure, peuvent différer beaucoup d'un genre d'appareil à un autre.

Il résulte de la fixité de ces courbes caractéristiques pour chaque type de machine, des lois qu'il convient de connaître pour tirer des ventilateurs et des pompes la meilleure utilisation.

Nous citerons en particulier les lois suivantes que nous désignerons sous le nom de lois de M^E Râteau.

1^{re} loi de M^E Râteau.

En marche normale, une pompe centrifuge, comme un ventilateur, donnent un débit proportionnel à la vitesse de rotation et une

⁽¹⁾ Les propriétés des ventilateurs et des pompes centrifuges sont les mêmes; ces deux sortes d'appareils ne diffèrent que par la densité du fluide qu'ils débitent.

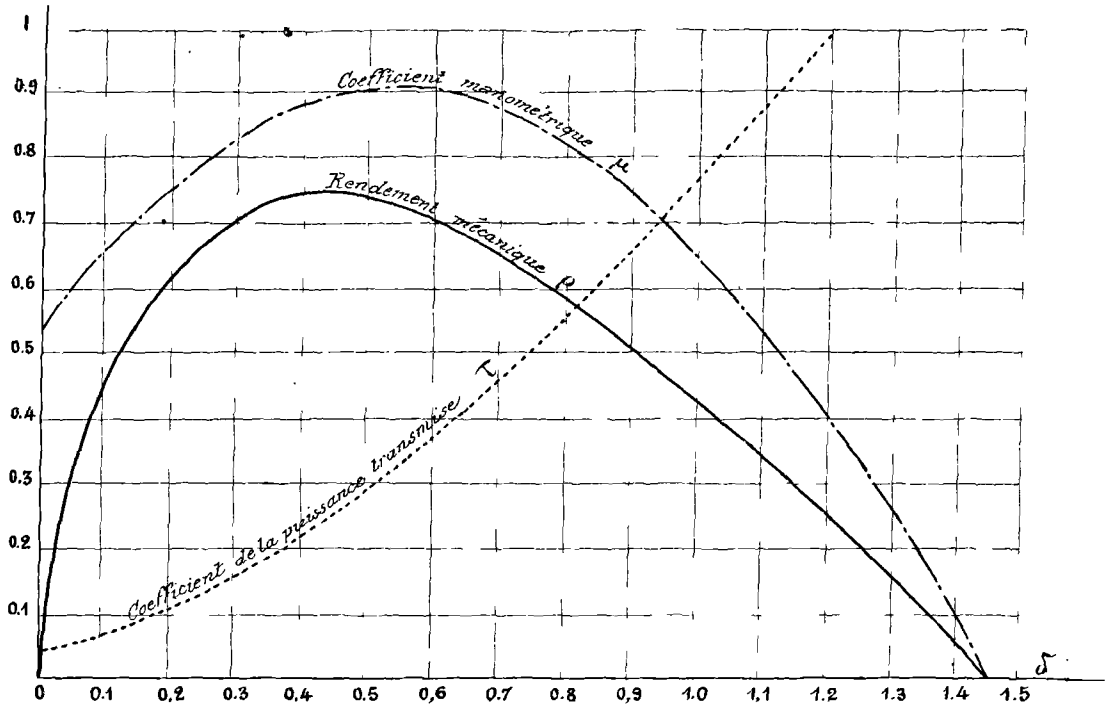


Fig. 31 Courbes caractéristiques d'un ventilateur centrifuge Rateau.

hauteur de pression proportionnelle au carré de cette vitesse de rotation.
 En désignant par a et b des constantes qui dépendent du type d'appareil étudié, on a :

$$Q = au \quad H = bu^2$$

D'où on déduit :

$$Q^2 = \frac{a^2}{b} \times H$$

ou

$$Q = \frac{a}{\sqrt{b}} \times \sqrt{H}$$

On peut donc énoncer la loi suivante :

2^{me} loi de M^r Rateau. En marche normale, c'est à dire dans les conditions de maximum de rendement mécanique, le débit pour une vitesse donnée est proportionnel à la racine carrée de la hauteur de pression.

On sait généralement qu'une pompe centrifuge doit fournir un débit constant, ou à peu près constant, quelle que soit la hauteur d'élevation. C'est l'ignorance de cette loi fondamentale qui a fait penser

que ces appareils étaient incapables de procurer de grandes pressions avec un bon rendement mécanique. Or M^e Rateau a construit des pompes centrifuges à une seule roue mobile débitant, à une vitesse de 2200 tours par minute, 60 mètres cubes à l'heure, à une hauteur de 30 mètres et ayant plus de 55% de rendement mécanique.⁽¹⁾

(1) Dans son mémoire, M^e Rateau cite de nombreux résultats d'essai de pompes dites multicellulaires c'est à dire de pompes formées d'une série de roues mobiles groupées sur un même axe et réunies en série de manière qu'elles soient traversées par le même courant liquide. La pression communiquée au courant croît d'une roue à l'autre, chacune d'elles donnant une fraction de hauteur égale à la hauteur totale divisée par le nombre des roues; c'est ainsi que, dans une pompe multicellulaire élevant l'eau à 200 mètres, et formée de 10 roues, chacune de celles-ci ne produit qu'une pression de 20 mètres. L'emploi de ces pompes multicellulaires est nécessaire quand on doit associer ensemble un moteur électrique et une pompe centrifuge pour grande hauteur d'élevation. Cette nécessité provient, d'une part, de la vitesse insuffisante des moteurs électriques et, d'autre part, de l'influence des pertes externes dans la pompe (fuites aux joints et frottements dans le liquide ambiant). Si l'on voulait, en effet, n'utiliser qu'une seule roue, on serait conduit, pour réaliser la vitesse périphérique nécessaire, à un diamètre de roue mobile tel que le débit serait relativement faible pour ce diamètre; les pertes externes prendraient une si grande importance qu'elles feraient tomber beaucoup le rendement mécanique.

Il résulte d'essais faits aux ateliers Sautter-Harlé qu'une pompe centrifuge à 5 roues mobiles, du type construit par M^e Rateau, a donné à la vitesse de 1365 tours par minute, une hauteur d'élevation de 86 mètres et un débit de 108 mètres cubes à l'heure, avec un rendement mécanique voisin de 70%; une pompe à 7 roues mobiles a donné à la vitesse de 1200 tours par minute, un débit de 85 mètres cubes à l'heure, à la hauteur de 100 mètres et avec un rendement mécanique de près de 60%.

Si au lieu de faire tourner la pompe centrifuge avec un moteur électrique, on la fait tourner avec une turbine à vapeur, on obtient des résultats surprenants. Avec une seule roue mobile de 8 centimètres de diamètre, accouplée à une turbine à vapeur tournant à 18.000 tours par minute, on a pu obtenir une hauteur d'élevation de 300^m et un débit de 20 mètres cubes à l'heure avec un rendement mécanique de 60%.

Nous sommes loin, comme on le voit, de l'opinion encore récente que les pompes centrifuges étaient impuissantes à dépasser une hauteur de 10 à 15 mètres avec un bon rendement mécanique.

Cas où l'on s'écarte de la marche normale.

Dans ce qui précède, nous avons supposé que l'on expérimentait en marche normale. Quand on s'écarte de cette marche, le rendement mécanique baisse. Mais il ne baisse d'abord que très lentement, en sorte que le débit peut pratiquement s'écarter d'environ 30% en plus ou en moins de sa valeur normale sans que le rendement mécanique soit notablement inférieur à son maximum. On voit donc que le débit des pompes centrifuges peut dans la pratique varier du simple au double sans grand inconvénient.⁽¹⁾ Les pompes centrifuges jouissent ainsi d'une grande souplesse d'application.

(1) C'est là le grand avantage des pompes centrifuges sur les pompes à piston.

Si l'on suppose la vitesse constante, ce qui est ordinairement le cas lorsque la machine est conduite par un moteur électrique, les pompes à piston donnent un débit sensiblement constant à une hauteur variable, tandis que les pompes centrifuges donnent une hauteur d'élevation sensiblement constante et un débit variable. Si, en effet, on se reporte à la figure 30 de la page 201, on voit que, dans certaines limites, on peut produire une assez grande variation de débit sans faire varier la hauteur d'élevation d'une manière notable. Or, dans la plupart des applications, la hauteur à produire est constante tandis qu'au contraire on a besoin généralement de faire varier le débit. Il suffit pour cela de placer une vanne sur le tuyau de refoulement (par exemple à la suite de la pompe) et de donner à la pompe une vitesse un peu supérieure à celle qui serait strictement nécessaire pour obtenir la hauteur d'élevation totale. Dès lors en ouvrant plus ou moins la vanne, on a plus ou moins de débit. On peut même fermer complètement la vanne tout en laissant la pompe continuer à tourner, cela n'occasionnera aucun inconvénient; la pression donnée par la pompe sera un peu augmentée mais extrêmement peu.

Si cela est nécessaire, on peut prendre des dispositions pour faire varier la hauteur d'élevation donnée par une pompe centrifuge. Si le moteur est à courant continu, il suffit de modifier la vitesse de rotation en agissant sur le courant d'excitation, au moyen d'un rhéostat; la hauteur produite étant proportionnelle au carré de la vitesse, on obtient par ce moyen d'assez grandes différences de hauteur avec une variation relativement faible de la vitesse. Si le moteur qui commande la pompe est à courant triphasé et est alimenté par un réseau où la fréquence du courant est constante, on ne peut plus faire varier la vitesse de ce moteur que dans des limites

Division de la hauteur d'élevation H en hauteur affectée à l'aspiration et partie correspondant au refoulement
Position d'une pompe centrifuge.

Une dernière remarque doit être faite ici.

Dans tout ce qui précède, nous n'avons pas distingué, dans la hauteur H, la partie de cette hauteur affectée à l'aspiration et la partie qui correspond au refoulement; peu importe, en effet, la manière dont se partage la hauteur totale de part et d'autre de l'appareil.

Une pompe centrifuge peut être placée en un point quelconque de la hauteur d'élevation; elle peut même être placée en siphon au-dessus du réservoir de refoulement. Ainsi l'alimentation du bassin à flot du port de Bordeaux se fait au moyen d'une grande pompe centrifuge qui débite jusqu'à $2,50$ m³ d'eau à la seconde, soit 9000 mètres cubes à l'heure; elle puise l'eau dans la Garonne et la refoule dans le bassin à flot dont le niveau se trouve à 2 mètres en dessous de l'axe de la pompe.

Phénomène de la Cavitation.

Toutefois il est bon de faire une restriction. Il faut que la dépression dans l'ouïe (orifice d'entrée de la pompe), c'est à dire la différence entre la pression extérieure et la pression représentée par la colonne de liquide soulevé ne tombe pas à une valeur trop voisine de zéro. Il surviendrait alors un phénomène gênant désigné sous le nom de Cavitation. Ce phénomène, qui a été constaté pour les hélices propulsives à grande vitesse, se produit également dans les pompes centrifuges lorsque, la pression à l'entrée de la pompe étant faible et la vitesse d'entraînement des ailes étant grande, l'eau ne peut suivre le revers de ces ailes. La continuité de la

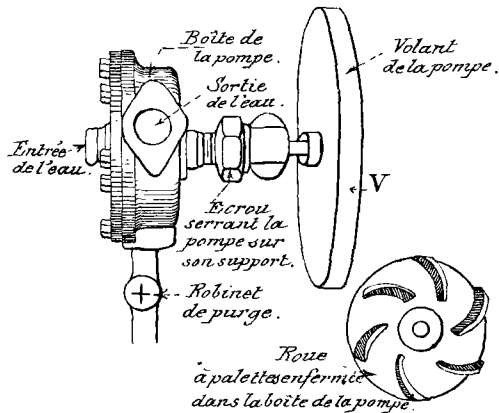
(suite du renvoi de la page précédente) très faibles. Dans ces conditions, on peut obtenir une variation de hauteur par échelons avec une pompe multicellulaire en enlevant des roues dans le corps de pompe. On peut encore mettre sur le corps de pompe autant de tubulures de refoulement qu'il y a de roues, chacune de ces tubulures correspondant au fonctionnement de la pompe avec le nombre de roues correspondantes; il suffit alors de raccorder le tuyau de refoulement à l'une ou à l'autre de ces tubulures pour obtenir, avec une vitesse constante de la pompe, des hauteurs d'élevation différentes.

Enfin le grand avantage des pompes centrifuges réside dans la possibilité de les accoupler directement à un moteur électrique tournant à n'importe quelle vitesse.

veine liquide est alors rompue, il se forme des poches d'air et le rendement tombe rapidement.

Position de la pompe centrifuge dans les automobiles. C'est pour éviter la production de ces poches gazeuses que dans les automobiles, on dispose le réservoir, qui contient l'eau froide de circulation en charge sur la pompe centrifuge. En effet, dans leur cas, la moindre aspiration donnerait naissance dans la pompe à la production de vapeur d'eau et par suite de poches gazeuses.

Ces pompes employées pour automobiles sont disposées comme le représente la figure 32; elles sont montées sur un axe portant à son



extrémité un volant V qui vient frictionner par exemple, avec le volant du moteur. Comme le diamètre de ce volant V de la pompe est plus petit que le diamètre du volant du moteur, il en résulte une multiplication telle que le nombre des tours de la pompe par minute est égal au nombre des tours de l'arbre du moteur multiplié par le rapport des diamètres du volant de la machine et de celui de la pompe.

Pompe centrifuge.
(Baudry de Saunier. L'automobile théorique et pratique. Voitures à pétrole. p. 297.)

Fig. 32

C'est ainsi que l'on construit

pour automobiles des pompes Grouvelle qui peuvent faire 2500 à 3000 tours à la minute.

Entraînement de la pompe centrifuge.

Une question importante est celle qui est relative à l'entraînement de la pompe. Comme nous l'avons dit, cette commande se fait par friction du volant V (Fig. 32) sur la jante du volant du moteur. Pour cela le volant V doit être garni sur sa circonférence d'une matière

légèrement compressible et possédant un coefficient de frottement élevé. ⁽¹⁾
Inconvénients de l'emploi du caoutchouc comme garniture du volant de la pompe. En a essayé d'employer pour cet usage le caoutchouc qui, à première vue, paraissait convenir à merveille à cause de son élasticité, pour produire un contact continu et une adhérence parfaite. Malheureusement les résultats ont été négatifs. L'anneau de caoutchouc, continuellement laminé par le volant pendant la rotation, s'allonge et inévitablement au bout de quelques jours, saute hors de sa gorge et est mis hors d'usage.

Pour avoir un résultat, il serait indispensable de substituer au volant V de la pompe un disque de caoutchouc plein, serré entre deux plateaux parallèles et libre seulement sur sa circonférence. Mais dans ces conditions l'avantage que présentait l'anneau de pouvoir être remplacé presque instantanément n'existe plus. D'autre part, on a affaire à un disque de caoutchouc qui coûte plus cher que le cuir, qui exige le même montage et qui, si la pompe vient à s'arrêter pour une cause quelconque, sera fondu, brûlé par le frottement du volant du moteur.

Emploi du cuir comme garniture du volant de la pompe. C'est pourquoi tous les constructeurs ont délaissé le caoutchouc employé pour l'entraînement du volant de la pompe et se sont ralliés à l'emploi du cuir, qui donne encore le moins de mécomptes.
Précautions à prendre dans son emploi. Mais ce système ne fonctionne d'une manière satisfaisante que si l'on prend certaines précautions indispensables.

1° - Les disques de cuir, qui reçoivent le mouvement de rotation, doivent d'abord être tournés avec soin. Il est bon de ménager, dans la partie centrale des plateaux qui les serrent (plateaux faisant partie du volant de la pompe), un épaulement permettant, dans le cas d'un démontage

(1) Les détails sont empruntés à deux articles remarquables de M. G. Laillet.

G. Laillet - La circulation d'eau (Les petites annales illustrées du Cycle et de l'Automobile) - 6^e année - N^{os} 281 et 282 - 15 et 22 Novembre 1902.

ou d'un desserrage accidentel, de les recentrer exactement.

2^e - Les disques seront en cuir bien homogène assez souple. Le cuir vert ou le cuir chamoisé conviennent mieux que le cuir sec et sont moins sujets à former des facettes sur leur circonférence par suite d'un choc quelconque.

3^e - L'épaisseur du galet de la pompe doit atteindre 18 à 20 millimètres pour avoir une adhérence suffisante.

Comme on ne trouve pas dans le commerce de cuir homogène de plus de 6 à 7 millimètres d'épaisseur, il convient d'assembler au moins trois feuilles de cuir entre les deux plateaux qui serrent ces feuilles.

4^e - Si le volant du moteur a sa jante lisse et que le galet de la pompe s'y appuie normalement par sa tranche, il suffit de juxtaposer les disques de cuir, en les taillant de manière à leur donner un diamètre extérieur de 5 à 6 millimètres, plus grand que le diamètre du volant de la pompe. Le cuir maintenu dans ces conditions, c'est à dire de telle façon qu'il ne déborde le volant que de ces 5 à 6 millimètres, se comporte comme un seul bloc.

5^e - On emploie quelquefois un autre système d'entraînement. On pratique dans la jante du volant du moteur une rainure circulaire, dont la section droite est un trapèze, ayant sa petite base tournée vers l'axe du moteur, cette petite base ayant une grandeur un peu plus petite que l'épaisseur du cuir du galet. On fait appuyer ce galet dans cette rainure, où il vient se coincer entre les deux joues intérieures, comme dans une poulie à gorge.

Ce système employé dans le but d'avoir une adhérence plus grande, comporte des inconvénients.

a) - Il présente d'abord une difficulté de montage. Alors qu'avec le premier dispositif, le galet de la pompe peut être déplacé le long de son axe sans que son fonctionnement soit altéré, le second exige que ce

galet soit placé exactement en face de la rainure du volant du moteur, sous peine de toucher la gorge d'un seul côté et de subir pendant la rotation une torsion qui tend à fausser l'axe de la pompe, qui ovalise son presse-étoupes et provoque des fuites continuelles.

B) - De plus, comme le cuir doit s'enfoncer dans la jante du volant, il faut lui donner un diamètre qui est de 12 à 15 millimètres, plus grand que le diamètre des plateaux entre lesquels il est serré. On est alors obligé de relier les unes aux autres, par un moyen quelconque, les feuilles de cuir. On peut les coller; mais si le défaut de montage que nous signalions tout à l'heure se produit, il y aura frottement sur une des joues de la rainure, échauffement du cuir et décollage d'une feuille qui se trouvera bientôt pliée ou déchirée et qui arrêtera net la pompe.

6^e - Dans tous les cas, pour que l'entraînement de la pompe soit assuré, il faut que le galet soit appuyé sur le volant du moteur avec une force constante, suffisante pour produire l'adhérence, assez faible pour ne pas provoquer l'écrasement du cuir. Le seul procédé qui donne un bon résultat est celui du ressort de rappel.

La pompe est reliée à sa tuyauterie par deux raccords en caoutchouc de façon à pouvoir se déplacer légèrement sans crainte de rupture. Le corps de pompe est monté à glissières sur deux colonnettes fixes dirigées normalement à la jante du volant du moteur. La colonnette voisine du galet de cuir porte un ressort réglable qui tend à appuyer constamment ce galet sur la jante du volant. On règle la tension du ressort à l'aide d'un écrou de butée, de telle sorte qu'on puisse facilement faire tourner le galet à la main sans que le moteur tourne; l'adhérence obtenue ainsi est largement suffisante.

7^e - Il est essentiel de supporter l'axe de la pompe par 2 paliers très longs. Malgré cela, si une certaine quantité d'eau ou de boue se

logé entre eux, l'entraînement de la pompe peut être très défectueux. La pompe, en s'arrêtant, obture la canalisation de l'eau comme le ferait un robinet, et un échauffement exagéré du cylindre se produit si l'on n'est pas averti de l'arrêt de la pompe par un manomètre indiquant la pression due à la vitesse de l'eau avant son entrée dans le cylindre.

Aussi dans quelques voitures le volant V de la pompe est-il remplacé par une roue d'engrenage en prise avec une autre roue fixée sur l'axe du moteur. Les roues sont d'ailleurs enfermées dans le carter et l'inconvénient que nous venons de signaler ne se produit pas. Ce dispositif est adopté dans la voiture légère Darracq, type 1903.

Troisième type de pompe applicable aux automobiles; type se rapprochant des pompes à piston.

Nous sommes ainsi amenés à parler d'un troisième type de pompe applicable aux automobiles, type qui se rapproche des pompes à piston et qui tend à se répandre en ce moment. L'un des échantillons de ce type est la pompe Darracq.

La figure 33 représente la pompe Darracq dans deux positions successives.

Elle consiste en une boîte cylindrique plate (ouverte sur notre croquis)

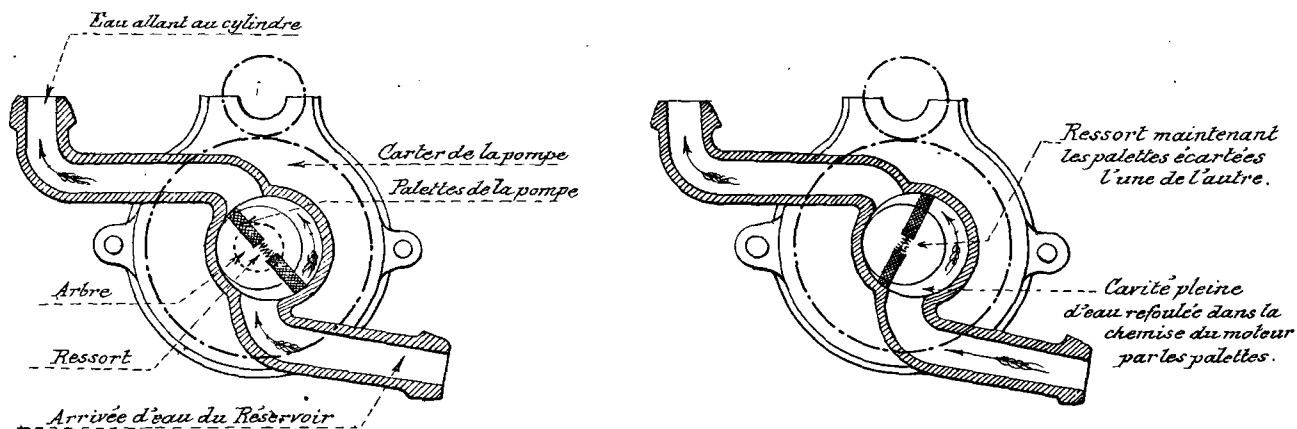


Schéma de la pompe Darracq en deux positions.

(Aspiration et refoulement de l'eau.)

Fig. 33

Dans laquelle tourne un arbre excentré (en pointillé sur la figure) terminé par une tête fendue comme celle d'une vis.

Dans cette fente, glissent deux palettes (en quadrillé sur la figure) qu'un ressort maintient constamment écartées l'une de l'autre. Grâce à ce ressort, les palettes suivent le contour de la chambre malgré l'excentrage de l'axe.

D'autre part, à cause de cet excentrage, on voit que le volume de la cavité dans laquelle arrive l'eau ou à partir de laquelle l'eau est envoyée dans le moteur, va en augmentant ou en diminuant entre zéro et une certaine valeur. C'est ainsi que dans le schéma de gauche (Fig. 33) l'eau arrive du réservoir dans une cavité dont le volume va en augmentant à partir de zéro; il y a aspiration du liquide; dans le schéma de droite (Fig. 33), l'eau qui a rempli la cavité précédente, est repoussée par la pompe dans le moteur, le volume de la cavité dans laquelle se trouve l'eau allant en décroissant jusqu'à zéro.

Appareils pour refroidir l'eau de circulation. Les pompes que nous venons d'étudier permettent de produire autour du cylindre du moteur une circulation active d'eau. Cette eau partant d'un réservoir arrive dans la pompe qui l'envoie autour du cylindre du moteur où elle se réchauffe en refroidissant celui-ci. Cette eau dont la température s'est élevée doit être refroidie avant de revenir au réservoir. On obtient ce résultat de diverses manières que nous allons successivement passer en revue.

Radiateurs. I - Pour refroidir l'eau, on peut la faire passer dans une sorte de serpent formé d'une série de tubes disposés en série dans lesquels cette eau doit successivement passer. Ces tubes sont refroidis par l'air ambiant et, pour augmenter leur surface de contact avec l'air, on les munit d'ailettes. On constitue ainsi ce que l'on appelle un Radiateur.⁽¹⁾

⁽¹⁾ Les détails sur la construction des radiateurs sont empruntés aux sources suivantes :
G. Laveigne. - Manuel théorique et pratique de l'Automobile sur Route. p. 129 - (Paris. - Ch. Béranger).
G. Laveigne. - Le Refroidissement des Moteurs - (Locomotion N° 17 - p. 58)

Le radiateur se fait avec ailettes en fer ou en aluminium, ces dernières n'ayant que l'avantage de la légèreté. Les ailettes sont plates (Grouvelle et Arquembourg) ou ondulées (Loyal); les secondes offrent une surface un peu plus grande au contact de l'air et augmentent la durée de ce contact par la gêne qu'elles font éprouver à la circulation du fluide; les premières sont plus faciles à débarrasser de la boue qu'elles reçoivent.

Une question encore discutée est celle de savoir s'il faut souder les ailettes ou les emboutir autour du tube. M^r de Chasseloup-Laubat est partisan du soudage; l'ailette emboutie vaut, dit-il, l'ailette soudée quand elle est neuve; mais sous l'influence des chocs, des dilatations inégales du cuivre qui constitue le tube et de l'aluminium ou du fer avec lequel est fabriquée l'ailette, un jeu ne tarde pas à se produire entre l'ailette emboutie et le tube; le vide qui en résulte est rempli par des poussières qui empêchent la chaleur du tube de se communiquer rapidement aux ailettes et de se dégager. L'ailette soudée, au contraire, maintient beaucoup plus intimement son contact avec le tube.

M^r Grouvelle oppose à ces vues l'expérience suivante: des ailettes fabriquées pour un tube de 18^m ont été adaptées sans soudure sur un tube de 17^m; elles présentaient donc un certain jeu et cependant les résultats ont été sensiblement les mêmes qu'en réunissant ces ailettes au tube par une soudure.

Ce qui est certain, c'est, que l'ailette soudée donne plus de solidité que l'ailette emboutie, mais elle coûte plus cher.

La surface et l'espace des ailettes doivent être fixés avec précision. M^r Grouvelle et Arquembourg donnent à leurs ailettes une surface dix fois plus grande que la section intérieure du tube et un écartement égal au rayon intérieur de ce dernier. Ces constructeurs emploient des tubes de 15^m de diamètre intérieur pour les moteurs au-dessous de

huit chevaux et de 18^m pour les autres. On compte qu'il faut, par puissance d'un cheval, 2 mètres de tuyau de 15^m ou 1^m,35 de tuyau de 18^m. Ces tuyaux pèsent respectivement au mètre : le premier 0^k,875 avec des ailettes en aluminium ou 1^k,275 avec des ailettes en fer; le second 1^k,220 et 1^k,820. On voit, d'après ces chiffres, que le poids d'un radiateur n'est pas négligeable; si on considère en effet une voiture de 70 chevaux Lanhard et Sevassot, du type Paris-Thienne, on trouve que le radiateur doit avoir environ 95 mètres et peser près de 130 kgr. ⁽¹⁾

Pour augmenter l'action du radiateur, M. M. Grouvelle et Arquembourg ⁽²⁾ activent la circulation ^{de l'air} autour des ailettes au moyen d'un ventilateur mis en mouvement par le moteur lui-même. En outre, le réservoir est placé autour du ventilateur afin de bénéficier d'un refroidissement complémentaire. ⁽³⁾

L'avantage de ce dispositif consiste à permettre le refroidissement aussi bien à l'arrêt qu'en marche. D'autre part, la vitesse du ventilateur étant toujours forcément la même que celle du moteur, l'efficacité du radiateur est toujours identique.

L'utilité de ces radiateurs à ventilateur se fait surtout sentir dans les pays de montagne où l'on rencontre des côtes très longues et très dures et où, par conséquent, l'efficacité du refroidissement par

(1) Le prix d'un radiateur est assez élevé (10^{fr},00 par mètres de tuyau de 15^m avec ailettes en fer rapportées).

(2) L. Chezy. — Les nouveaux refroidisseurs J. Grouvelle et B. Arquembourg (Locomotion — N° 51 — p. 603)

(3) M. Julien reproche aux tubes à section circulaire de rendre difficile le contact de leur paroi intérieure avec les veines centrales du liquide; il constitue ses radiateurs avec des tubes aplatis sauf à leurs extrémités qui restent cylindriques pour faciliter les raccords; il supprime d'ailleurs les ailettes. Le même constructeur construit aussi un refroidisseur formé par un tube ayant comme section un large rectangle très aplati, replié en serpentin; sa largeur permet de réduire beaucoup le nombre des spires. Il se place sur la voiture, l'embouchure face avant pour que l'air pénètre abondamment entre les spires et ressorte par 2 ouïes latérales. (Revue Industrielle — 1^{er} Avril 1899. p. 122)

l'air est considérablement diminuée.

Quant à la force que le ventilateur emprunte au moteur, elle diminue à mesure que la vitesse de la voiture augmente, puisque le vent, en s'engouffrant dans le radiateur, tend de lui-même à actionner le ventilateur.

Appareil réfrigérant dit Nid d'abeilles.

II - Les radiateurs à ailettes sont de beaucoup les plus employés; mais l'appareil réfrigérant peut recevoir la forme d'un condenseur à surface, formé par un grand nombre de tubes à parois fort minces, dans lesquels l'air extérieur, appelé par un ventilateur, circule à très grande vitesse et refroidit l'eau qui s'écoule dans les faibles interstices laissés par les tubes, qui dans certains de ces appareils, sont au nombre de deux ou trois mille. Ce type est connu sous le nom de Nid d'abeilles (Fig 34).

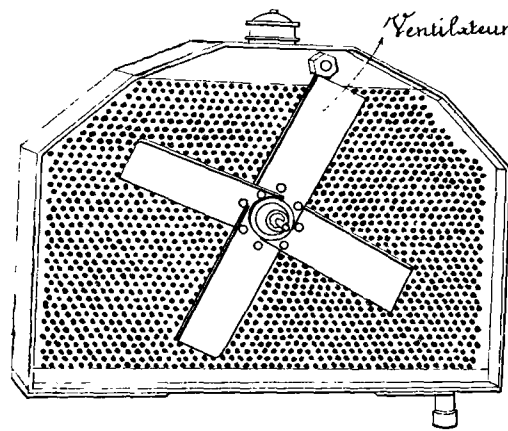


Fig. 34

Refroidisseur Nid d'abeilles

à 1903, il n'y a plus de ventilateur spécial; le volant du moteur en tient lieu. Un dispositif analogue est employé dans la voiture Glauquier.

Réservoir-refroidisseur

III - Enfin, on a songé à supprimer le ventilateur et à remplacer le système du réservoir et du radiateur par un réservoir-refroidisseur système E. Bordier.

À ce type, appartiennent le radiateur Ch. Schneider⁽¹⁾ et celui des voitures Mercedes. Celui-ci, sous un faible volume, compte jusqu'à 5800 tubes et présente une surface de refroidissement de 36 mètres carrés: 7 litres d'eau suffisent pour assurer le refroidissement d'un moteur qui donne 36 chevaux à 1000 tours par minute. Dans la Mercedes Simplex

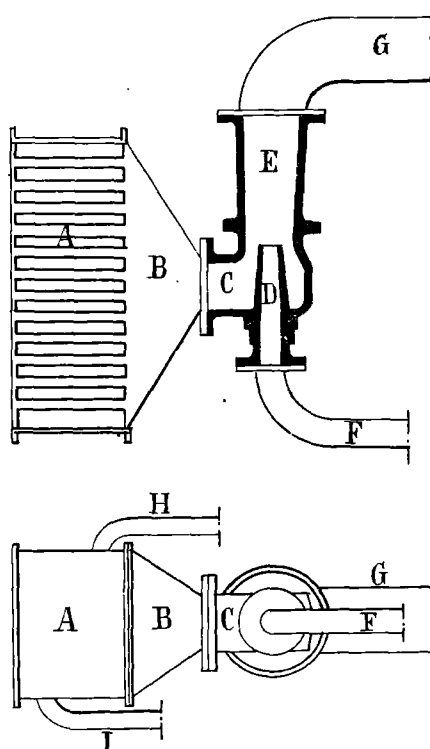
⁽¹⁾ L. Overoy - Le nouveau radiateur Ch. Schneider (Locomotion. N° 57 - p. 696).

Le refroidissement de l'eau dans celui-ci est obtenu par une circulation d'air provoquée par la dépression que produit un éjecteur recevant les gaz d'échappement du moteur. Le système présente, entre autres avantages, celui de supprimer la pompe de circulation.

Cet appareil de refroidissement dit système E. Bordier⁽¹⁾, se compose de trois parties essentielles:

- 1^o - le réservoir d'eau à faisceau tubulaire;
- 2^o - l'éjecteur;
- 3^o - la boîte de communication entre le réservoir et l'éjecteur;

Le réservoir d'eau, qui se place, à l'avant de la voiture pour bénéficier



- A, Réservoir tubulaire contenant de l'eau.
- B, Boîte de communication.
- C, Corps de l'éjecteur.
- D, Cône éjecteur.
- E, Cône receveur.
- F, Tuyau qui amène au cône D les gaz d'échappement du moteur.
- G, Tuyau d'échappement de l'éjecteur qui conduit le mélange d'air et de gaz au pot d'échappement.
- H, Tuyau qui introduit l'eau chaude dans le réservoir tubulaire A.
- I, Tuyau qui conduit aux moteurs l'eau refroidie dans le réservoir tubulaire A.

Fig. 35
Appareil de refroidissement (Système E. Bordier)
(Locomotion n° 50, page 585)

⁽¹⁾ J. Bertrand - Un nouvel appareil de refroidissement (système Bordier) [Locomotion N° 50, p. 585].

de l'action réfrigérante de l'air, se compose d'une caisse à eau à deux parois réunies et traversées par un faisceau tubulaire dirigé parallèlement à l'axe de la voiture. L'éjecteur, qui reçoit les gaz d'échappement du moteur, se place sous le châssis, entre le réservoir et le pot d'échappement.

Sous l'action de l'éjecteur, un vide se produit dans la boîte de communication qui réunit l'arrière du réservoir tubulaire à l'éjecteur; l'air extérieur se précipite dans le faisceau tubulaire, refroidit l'eau qui entoure les tubes et se rend, mélangé aux gaz d'échappement, au silencet.

Dispositions relatives des trois organes de la circulation d'eau: Réservoir, pompe et radiateur.

Une dernière question doit être résolue: Comment doit-on disposer les uns par rapport aux autres et par rapport aux cylindres, les trois organes dont se compose un système de refroidissement par circulation d'eau, le réservoir, la pompe et le radiateur.

Nous avons vu que la pompe devait être en charge par rapport au réservoir. La meilleure position pour le radiateur est entre le moteur et le réservoir, c'est à dire que l'eau venant du moteur doit traverser le radiateur avant d'arriver au réservoir; c'est ainsi qu'on obtient le plus grand écart de température entre l'eau à refroidir et l'air chargé d'assurer ce refroidissement (Fig. 36). Quand on est obligé de disposer le

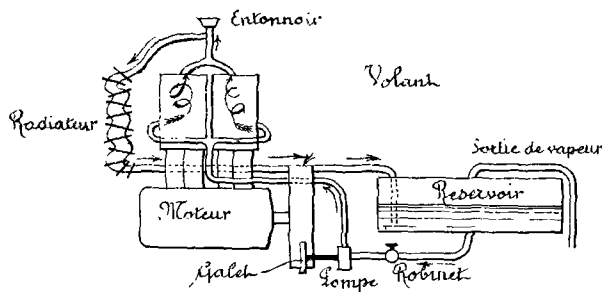


Fig. 36

Schema d'une circulation d'eau avec radiateur à l'avant de la voiture entre le moteur et le réservoir.

(Paudry de Saunier - L'Automobile théorique et pratique. - Voitures et Lettore. p. 138)

radiateur avant le moteur (eau passant dans le radiateur avant d'arriver au moteur), il vaut mieux le placer entre le moteur et la pompe (eau passant de la pompe dans le radiateur) qu'entre la pompe et le réservoir (eau passant directement du réservoir dans le radiateur), parce que, dans

ce dernier cas, le radiateur créait une résistance à l'arrivée de l'eau dans la pompe: pour atténuer cette résistance, on pourrait d'ailleurs faire entrer l'eau par le haut du radiateur, afin qu'elle soit, pour atteindre la pompe, aidée par la pesanteur.

Choix de l'eau
pour la réfrigération
des moteurs.

Enfin quelle eau doit-on préférer pour la réfrigération des moteurs ?

Cette eau doit être choisie autant que cela est possible. La meilleure eau est l'eau de pluie; la plus mauvaise est l'eau de puits; l'eau de rivière est bonne en général.

L'eau calcaire a le grave inconvénient, quand on l'emploie couramment, de déposer, à l'intérieur des chambres de refroidissement, des couches d'abord minces, puis de plus en plus épaisses, de sels extrêmement durs et qui adhèrent fortement aux parois. Il en résulte que la capacité de ces chambres diminue de jour en jour et qu'elles arrivent même à l'obstruction complète; de plus, la couche calcaire est mauvaise conductrice de la chaleur, si bien que le moteur chauffe de façon anormale en dépit des soins qu'on apporte à la pompe et à la canalisation.

Pour ce qui est du changement de l'eau, il ne comporte aucune autre recommandation que l'emploi d'un entonnoir à tamis, sans crépines ou filtres métalliques inutiles, ainsi qu'il est résulté des études de la maison de Dion-Bouton. Il faut veiller simplement à ce que l'eau soit suffisamment propre et ne renferme ni feuilles ni brindilles qui pourraient se loger dans la pompe, ou dans un tube.

Les précautions à prendre contre le froid sont les suivantes. Il faut s'assurer d'abord que la canalisation ne fuit en aucun point à cause de la valeur appréciable du liquide que l'on va introduire. Il convient ensuite de mélanger, à l'eau, de la glycérine ordinaire et neutre, dans la proportion de 15%, soit 3 litres de glycérine pour 20 litres d'eau. Cette glycérine doit être versée dans le réservoir pendant que le moteur

fonctionne, afin qu'elle se mêle rapidement au courant d'eau qui passe.

La gelée n'a plus sur ce mélange d'autre action que de le transformer en neige, sans amener aucune rupture de pièces. Cette neige se liquéfie dès que le moteur est mis en marche et ne forme jamais bouchon dans la canalisation ainsi que le fait un morceau de glace.

Une autre solution, incongelable, que l'on a préconisée pour les automobiles, est formée de 1 partie d'eau et de 1 partie de solution de chlorure de calcium saturée à 30° cent. On a quelquefois reproché au chlorure de calcium d'attaquer les pièces métalliques. Dans une étude très documentée, qu'il a fait paraître dans *Automotor* (Mars 1902), M^r E. Keller a vérifié expérimentalement que le zinc seul est attaqué d'une façon appréciable; l'acier, le fer, le cuivre, le laiton peuvent être employés sans inconvénient au contact d'une pareille solution.

§ 3 — Distribution

Souppes d'admission et Souppes d'échappement.

La distribution dans les moteurs d'automobiles se fait au moyen de deux sortes de souppes:

les unes dites d'admission s'ouvrent pendant la durée du premier temps pour permettre au mélange tonnant d'entrer dans le cylindre; les autres dites d'échappement s'ouvrent pendant la durée du quatrième temps pour laisser expulser dans l'atmosphère les gaz brûlés.

Pour assurer la distribution, les diverses phases doivent être parfaitement réglées et ce réglage dépend essentiellement de la vitesse linéaire du piston.

Souppes d'échappement. Théoriquement la souppes d'échappement doit s'ouvrir à la fin de la troisième course du piston à laquelle nous avons donné le nom de course motrice. Mais, dans ces conditions, lorsque le piston commence sa quatrième course, il repule devant lui et à l'extérieur une masse

gazeuse qui est à une pression supérieure à la pression atmosphérique. Il en résulte, qu'il se produit, tout au moins au début de cette quatrième course, une contre-pression, qui diminue considérablement le travail utile, produit par la machine.

Avance à l'échappement. Aussi, en pratique, produit-on toujours une certaine avance à l'échappement. L'échappement se fait en faisant ouvrir la soupape d'échappement avant la fin de la 3^{me} course. La pression des gaz dans le cylindre diminue assez pour qu'au début de la 4^{me} course, la contre-pression n'ait plus cette valeur exagérée dont nous venons de signaler les inconvénients. Cet avantage de l'avance à l'échappement est d'autant plus sensible, que le moteur tourne plus vite; quand il ne fait que 400 ou 500 tours par minute, cet avantage n'existe presque pas; mais au-dessus, cette avance fait sentir nettement ses heureux effets. Il ne faut pas, en effet, oublier que le chiffre de 1200 tours par minute, souvent atteint dans les moteurs d'automobiles, correspond à 2400 courses aller et retour par minute, ou à 40 courses avec 10 explosions et 10 échappements par seconde.

Fermeture de l'échappement. Quant à la fermeture de l'échappement, elle doit se faire au moment où s'achève la quatrième course du piston. Si elle s'effectuait plus tôt, les gaz restants empêcheraient le piston d'arriver au fond de sa course et les gaz neufs de remplir le cylindre pendant l'aspiration suivante. Si elle ne s'effectuait que plus tard, ⁽¹⁾ les gaz brûlés seraient aspirés en même temps que ceux du carburateur et on éprouverait une grande difficulté à lancer le moteur pour sa mise en marche.

En effet, lors des premières aspirations, en même temps que de l'air carburé entrerait par la soupape d'admission, il arriverait par la soupape d'échappement de l'air qui diluerait trop le mélange introduit pour

(1) Cependant, quelques ingénieurs préconisent de donner un léger retard à la fermeture de la soupape d'échappement afin de produire une expulsion plus complète des gaz brûlés.

qu'il restât explosible; ce ne serait qu'au bout d'un assez grand nombre de cylindrées qu'il le deviendrait par un enrichissement progressif, la soupape d'échappement laissant rentrer un mélange de plus en plus carburé. Le réglage de l'ouverture de la soupape d'échappement, cette limitation de l'ouverture à une certaine phase du mouvement du moteur, imposent certaines conditions mécaniques qui sont les suivantes:

1° - La soupape d'échappement doit s'ouvrir vers l'intérieur du cylindre de manière que la pression qui se produit au moment de l'explosion ne tende pas à l'ouvrir intempestivement;

2° - La soupape d'échappement doit être maintenue sur son siège par un ressort assez puissant pour l'empêcher de se soulever pendant la période d'aspiration;

3° - La tige de la soupape d'échappement doit être actionnée par un dispositif mécanique de distribution.

Nous verrons plus loin la description de quelques-uns de ces mécanismes.

Les soupapes d'échappement se font de différentes façons:

1° - en acier Martin trempant;

2° - la queue en acier Martin et la tête en nickel;

3° - en nickel pur;

4° - en acier-nickel. (1)

(1) D'après M^le Georgia Knap, la meilleure soupape d'échappement est celle qui est faite en acier-nickel.

Le nickel pur forgé a l'inconvénient de devenir très fragile et très cassant; l'acier-nickel se forge mieux que le nickel et est beaucoup plus résistant aux vibrations. L'inconvénient des soupapes en acier résulte du dépôt d'oxyde qui, se produisant sur la partie rodée et s'interposant entre le siège et la soupape, empêche toute compression.

Cette oxydation des soupapes en acier se produit surtout avec les moteurs à ailettes, dont la puissance dépasse un cheval par cylindre; elle est moins nuisible avec les moteurs à circulation d'eau.

La rupture des queues de soupape d'échappement est un des inconvénients qui se produisent souvent dans les moteurs d'une certaine puissance tournant à grande vitesse. ⁽¹⁾ Cette rupture provient de l'usure produite par le frottement continu des gaz d'échappement qui amincissent la tige en face du tore de sortie.

La rupture des queues de soupapes d'échappement se produit surtout dans les moteurs dont le tuyau d'échappement a été mal calculé. Les tuyaux d'échappement doivent être d'un diamètre plus grand que les soupapes, pour éviter l'étranglement des gaz et assurer au contraire leur détente; une soupape de 25^{mm} de diamètre reçoit ordinairement un tuyau de 35^{mm} de diamètre.

Cette élévation de la température des soupapes d'échappement a conduit certains constructeurs à imaginer des dispositifs de refroidissement de ces soupapes. La soupape d'Equivilley, dont nous donnons ci-après le dessin (Fig. 37), a pour but d'éviter l'échauffement de la soupape d'échappement en produisant à son intérieur une réfrigération convenable.

La soupape d'échappement B, en fonte, a une tige évidée dans laquelle est logée concentriquement la soupape d'aspiration D. La coupe AB montre le dispositif qui permet de guider la tige de la soupape d'aspiration tout en réservant un espace suffisant pour assurer

(1) Les moteurs à circulation d'eau cassent moins de soupapes que les moteurs à ailettes, la température des sièges d'échappement avoisinant la soupape étant moins élevée.

La rupture fréquente d'une soupape vient souvent d'un ressort trop tendu.

Le pot d'échappement joue un grand rôle dans la rupture des clapets. En voulant éviter le bruit, on ne laisse pas aux gaz assez d'écoulement pour évacuer; les gaz restant au contact de la tige d'échappement la portent au rouge blanc.

(Georgia Knap. - Guide de conduite, réglage et entretien des motocyclettes - Paris. Desforges)

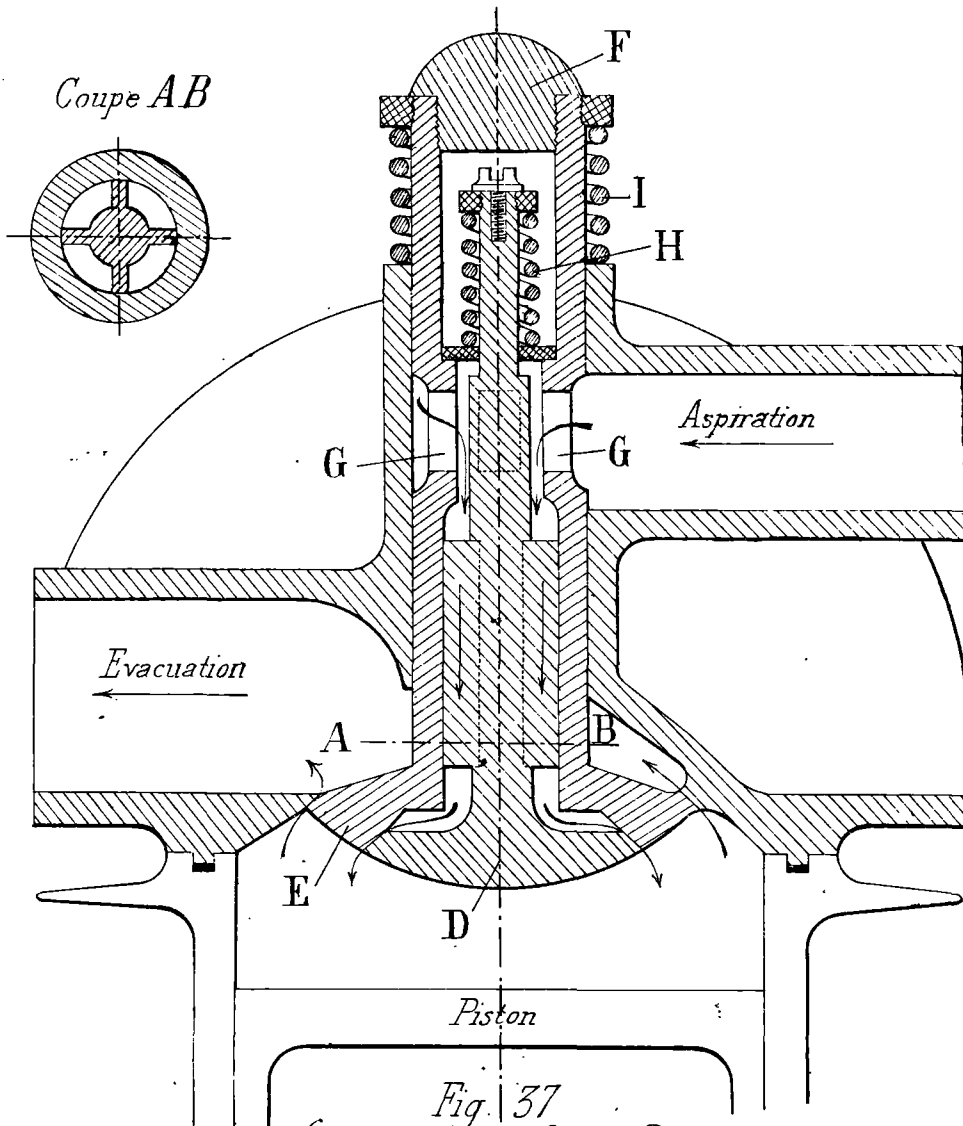


Fig. 37
Soupape d'Equivilley.

l'arrivée des gaz frais. Un levier commandé par la came appuie en temps utile sur l'extrémité F de la tige creuse de la soupape d'échappement et permet ainsi l'évacuation des gaz brûlés. La tige tubulaire du clapet d'échappement porte des ouvertures G qui correspondent avec le tuyau amenant l'air carburé. En I on voit la coupe du ressort d'échappement et en H celle du ressort d'aspiration. Ce dispositif assure une parfaite

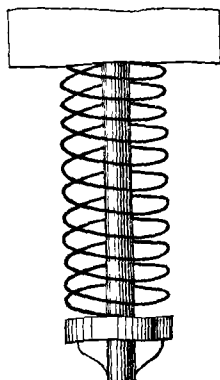


Fig. 38
Ressort d'échappement, en bon état

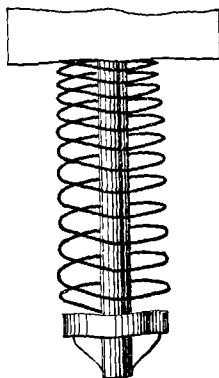


Fig. 39
Ressort d'échappement affaibli
près du moteur.
(G. Knap. Guide de conduite
des motocyclettes.)

réfrigération de la soupape d'échappement qui intérieurement est refroidie par un courant rapide d'air carburé.

Les ressorts qui collent les soupapes d'échappement sur leurs sièges doivent être puissants, afin d'empêcher ces soupapes de s'ouvrir à l'aspiration et les gaz brûlés de se réintroduire dans le cylindre. Pour éviter qu'ils se détrempent sous l'action de la chaleur, on emploie parfois certaines dispositions destinées à les isoler du moteur, ou au moins à les éloigner de ses parties les plus chaudes (Fig. 38 et 39).

Étudions maintenant le fonctionnement de la soupape d'admission.

En général la soupape d'admission est automatique. Au dernier Salon de l'Automobile qui s'est tenu au Grand Palais, il y avait plus de la moitié des moteurs exposés (exactement 55%) qui étaient à soupapes d'admission automatiques.

Comme la soupape d'admission s'ouvre du dehors vers le dedans de la chambre d'explosion, elle est maintenue appliquée sur son siège (quand elle est automatique) par la pression même des gaz contenus dans le cylindre. Elle s'ouvre, pendant le premier temps, sous l'influence de la dépression produite par le mouvement du piston s'éloignant du fond du cylindre après expulsion des gaz brûlés et fermeture de la soupape d'échappement. Théoriquement, dans ces conditions, la soupape d'admission pourrait être constituée par un clapet absolument libre;

Soupape d'admission.

Soupape automatique

mais, pour assurer la netteté de sa fermeture à la fin de l'aspiration et éviter tout échappement de mélange détonnant, au début de la compression, on lui adjoint un ressort pour la ramener à la position de fermeture.

Commande de la soupape d'admission.

Au Salon du Grand Palais (décembre 1902), les soupapes commandées se rencontraient presque aussi fréquemment que les soupapes automatiques. Il y avait exactement 45% des moteurs exposés qui portaient des dispositifs de commande de soupapes d'admission. Ce sont les ingénieurs des fameuses usines allemandes de Cannstatt qui, les premiers, ont introduit dans leurs voitures Mercedes ce genre de soupapes d'admission que l'on appelle en langage technique des soupapes d'admission desmodromiques.

Cette nouvelle tendance, qui tend à se généraliser est combattue par quelques ingénieurs très compétents en la matière, notamment par M^r F. Gaillardet⁽¹⁾ et par les ingénieurs de la maison de Dion-Bouton. En nous inspirant des diverses opinions émises, nous allons essayer d'indiquer dans quels cas s'impose la commande mécanique et dans quels cas elle semble inutile.

Considérons un moteur tournant à 1000 tours par minute et faisant 18 chevaux par cylindre; c'est le cas du moteur Centaure à 4 cylindres, qui actionne les voitures de course Panhard du type Paris-Dienne. Dans chacun des cylindres de ce moteur, la cylindrée est égale à environ 4 litres.⁽²⁾

(1) F. Gaillardet La Mode et les Moteurs (Locomotion - 3^{me} année - N°66 - p.9).

(2) Ne possédant pas les dimensions exactes d'un des cylindres de ce moteur, nous avons calculé la cylindrée de la manière suivante. Nous avons admis avec M^r Flospitalier que la puissance en poncelets (100 kilogrammètres) d'un moteur à pétrole est approximativement égale au dixième du nombre de litres qui mesurent le volume engendré en une seconde par le déplacement des pistons dans les cylindres. Dans le cas actuel, le moteur fait 16,5 tours par seconde; le volume engendré par seconde est donc de $2 \times 16,5 \times x$; la puissance est de 13,5 poncelets. On a donc, d'après la règle de M^r Flospitalier:

$$\begin{aligned} 33x &= 135 \\ \text{d'où } x &= 4 \text{ litres environ} \end{aligned}$$

Or chaque course durant $\frac{1}{33}$ de seconde, il faut que pendant ce temps on expulse du cylindre 4 litres de mélange gazeux pendant la période d'échappement, ou qu'on introduise ce volume de mélange tonnant frais pendant la phase d'admission.

On conçoit dès lors la nécessité d'avoir de grandes ouvertures soit d'admission soit d'échappement. Considérons en particulier l'orifice d'admission.

Si la soupape d'admission est automatique, sa levée ne peut, comme nous le verrons, excéder 3 à 4 millimètres. Dès lors, pour donner une grande ouverture à l'orifice d'admission, deux solutions sont seules possibles. On peut :

a) - ou bien employer une soupape unique de grande section, c'est à dire une soupape qui a 50 à 55 mill. de diamètre ou 20 à 25 cent. carrés de section ;

b) - ou bien munir le cylindre de plusieurs soupapes de section moyenne, c'est à dire dont le diamètre ne dépasse pas 30 millimètres ou dont la surface est de 7, 1 cent. carrés.

Examinons ces deux solutions.

Prenons une soupape d'admission, ayant une section de 20 centim. carrés. Si la pression à la fin de l'explosion est de 12 kgr., la surface de la soupape supporte, du fait de cette explosion, une force de 250 kgr. environ. Il convient, dès lors, pour que cette soupape résiste aux déformations auxquelles les explosions pourraient la soumettre d'augmenter son épaisseur et par suite son poids. Une soupape de grande section doit donc être lourde. Or une soupape lourde possède une grande inertie ; elle met, par suite, un temps plus long pour s'ouvrir et se fermer. Un retard à l'ouverture de la soupape d'admission a pour effet de diminuer le volume de la cylindrée utile, c'est à dire le volume du mélange gazeux frais qui pénètre dans le cylindre pendant l'explosion. D'autre part, un retard à

à la fermeture de la soupape d'admission, fermeture qui doit se produire au début de la phase de compression, produit le refoulement dans le carburateur d'une partie du mélange introduit pendant l'aspiration. La production de cette sorte de contre-courant diminue encore le volume de la cylindrée utile.

Or, toutes choses égales d'ailleurs, à un moindre volume de la cylindrée correspond une compression plus faible et par suite une puissance du moteur moins élevée.

On peut remédier au retard à la fermeture du clapet d'admission en tendant le ressort qui le ramène sur son siège. Le produit par la section de la soupape de la différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur du moteur, augmenté du poids de cette soupape, doit donner une force supérieure à la résistance du ressort antagoniste. Le volume de la cylindrée utile est encore dans ce cas diminué parce que la soupape d'admission ne s'ouvre pas au début de la course d'aspiration; mais l'expérience nous montre que la diminution de puissance qui en résulte est beaucoup moins grande que celle qui est produite par le refoulement du mélange tonnant dans le carburateur. D'ailleurs cette perte de puissance augmente avec la tension du ressort, et des tâtonnements souvent périlleux permettent seuls au constructeur de moteurs à admission automatique, de savoir pour quelle tension du ressort un moteur d'un modèle donné produit le plus de puissance.

Il ne faut pas songer à prendre une soupape de diamètre moyen voisin de 30 mill. avec une hauteur de levée atteignant 6 à 7 millimètres. En effet, si le moteur tourne à grande vitesse, le temps que met la soupape à se déplacer pour arriver à l'ouverture maximum d'admission n'est pas négligeable vis à vis du temps que le piston met à parcourir la longueur de la course. Dès lors, l'ouverture d'admission étranglée produit le laminage du mélange tonnant introduit et le

contre-courant, au début de la course de compression, vient encore agir pour diminuer la puissance du moteur.

Aussi, dans les moteurs à grande vitesse qui développent par cylindre une grande puissance, est-il préférable, si on garde l'admission par soupape automatique, d'employer plusieurs soupapes légères dont la hauteur de levée est de 3 à 4 millimètres.

C'est à cette solution que s'est arrêtée la maison Panhard dans la construction du moteur Centaure de 70 chevaux du type Paris-Tienne. Chacun des cylindres de ce moteur comporte trois soupapes d'admission, ce qui fait 12 soupapes d'admission pour l'ensemble des quatre cylindres. Or il n'existe sur chaque cylindre, qu'une seule soupape d'échappement.

Il semble donc naturel de remplacer les 12 soupapes d'admission par 4 soupapes commandées comme le sont les soupapes d'échappement.

Cas dans lesquels s'impose la commande mécanique de la soupape d'admission. Ses avantages.

On voit donc que la commande des soupapes d'admission s'impose dans les moteurs qui doivent fournir un grand nombre de chevaux par cylindre. Pratiquement cette commande semble nécessaire lorsque le nombre de chevaux à produire par cylindre est supérieur à 12. On donne ainsi à la soupape d'admission un ressort très tendu, aussi dur que celui de la soupape d'échappement: il est dès lors possible d'ouvrir et de fermer les soupapes au point voulu sans qu'un ressort d'aspiration trop fort retarde l'admission du mélange gazeux frais, sans qu'un lanceur de clapet ne le laisse ouvert au début de la phase de compression, au moment où va se produire le contre-courant refoulant dans le carburateur une partie du mélange frais qui a été admis. Avec la commande mécanique, on a encore l'avantage pratique d'avoir des clapets d'échappement identiques à ceux d'aspiration; un ressort de recharge peut servir pour l'aspiration ou pour l'échappement. Au point de vue de la commodité

une pareille interchangeabilité est comparable à l'adoption des roues égales pour l'échange des pneus.

Cas dans lesquels la commande mécanique de la soupape d'admission ne semble pas utile. Si l'adoption du clapet d'admission commandé est nécessaire dans le cas que nous venons d'étudier d'un moteur à grande vitesse donnant de 12 à 18 chevaux par cylindre, il n'en est pas de même dans tous les cas, et l'application de la commande mécanique à tous les moteurs n'est pas toujours susceptible de rendre tous les services qu'on attend de cette innovation.

En premier lieu, si le moteur ne tourne pas très vite, on retombe dans les pertes de cylindrée utile que nous avons signalées plus haut. En effet, les gaz arrivent froids du carburateur et se dilatent brusquement en entrant dans le cylindre; dès lors, si le moteur ne tourne pas avec une grande vitesse, cette dilatation suffit à les repousser au dehors. Il résulte immédiatement de là que, dans les moteurs destinés à tourner à des vitesses très variables, comme ceux que l'on construit maintenant, le volume de la cylindrée utile, et par suite la compression vont en diminuant avec la vitesse de rotation et cela au prix d'un accroissement de la consommation. On peut, il est vrai, remédier à cet inconvénient en ajoutant au clapet commandé un réglage automatique du point de fermeture suivant la vitesse du moteur. Mais c'est là une complication de plus à ajouter à l'adoption de la commande mécanique; or si la simplicité est la qualité première de tout mécanisme, l'application de ce principe est plus nécessaire en matière d'automobilisme qu'en tout autre cas.

La commande mécanique de la soupape d'admission constitue pour les moteurs de faible puissance une complication qui n'est pas justifiée par les raisons que nous avons données pour les moteurs de grande puissance. Une seule soupape légère munie d'un ressort de rappel de tension moyenne suffit au fonctionnement.

Si le moteur tourne à faible vitesse, cette soupape se ferme d'elle-même pour intercepter le courant gazeux qui, par suite de la dilatation, tend à revenir dans le carburateur.

D'ailleurs, des expériences directes faites à l'usine de Dion-Bouton sur un moteur de $\frac{3}{4}$ de cheval muni soit d'une soupape d'admission automatique, soit d'une soupape commandée, n'ont pas montré dans le second cas, une augmentation appréciable de la puissance comme l'ont annoncé quelques constructeurs.

Il semble donc exagéré d'étendre la commande mécanique des soupapes d'admission jusqu'aux motocyclettes, comme l'ont fait les constructeurs de la bicyclette Minerva type 1903.

Dispositifs de commande des soupapes.

Il nous reste, pour terminer cette question de la distribution, à indiquer quelques-uns des dispositifs qui ont été employés pour la commande des soupapes et en particulier des soupapes d'échappement.

Comme le dispositif mécanique de distribution ne doit agir qu'à des intervalles correspondant à deux tours de l'arbre moteur, il est souvent monté sur un arbre secondaire commandé par l'arbre moteur au moyen d'un train d'engrenages à réduction de $\frac{1}{2}$ (arbre secondaire faisant un tour pendant que l'arbre moteur en fait deux). Il consiste alors en une came qui, soit directement, soit par l'intermédiaire de leviers, produit au moment et pendant le temps voulu le soulèvement de la soupape. (Voir figures 1 à 4 de la page 148).

Nous donnons dans les figures 46 et 47 les schémas des commandes de soupapes d'admission et d'échappement des quatre cylindres d'un moteur de voiture Hautier.

Figures

Voiture Hautier

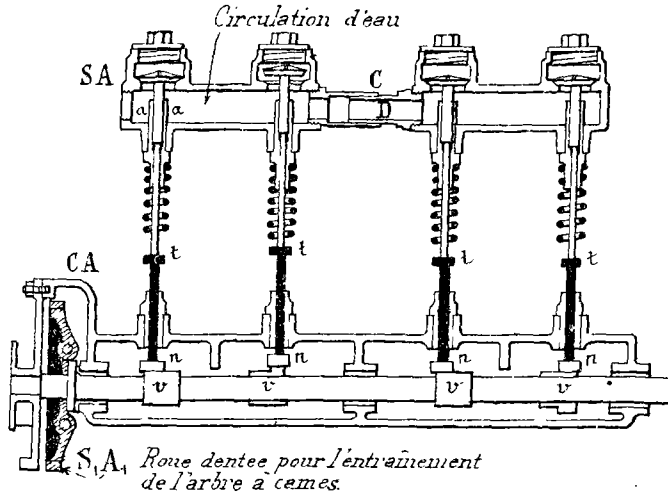


Fig. 40

Les soupapes d'admission et leur commande par les cames.
(Locomotion. 2^e Année. n^o 63)

Voiture Hautier.

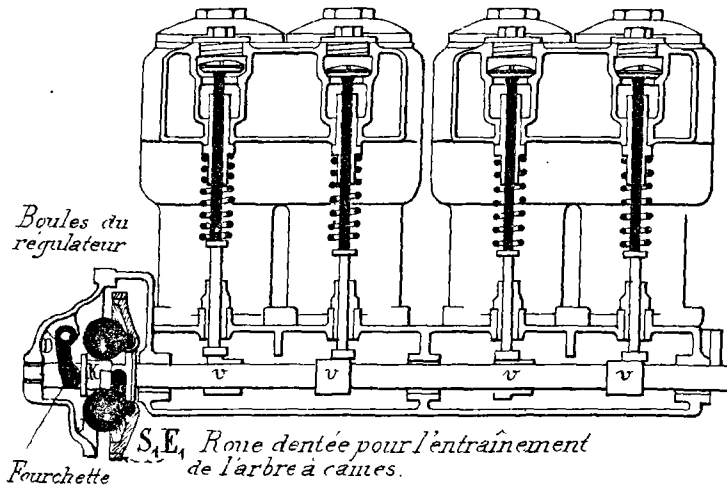


Fig. 41

Les soupapes d'échappement et la régulation.
(Locomotion. 2^e Année. n^o 63)

Un autre dispositif consiste à faire commander la tige de la soupape par un prisonnier qui coulisse dans une rainure pratiquée dans un plateau monté directement sur l'arbre moteur et faisant corps, par exemple avec le volant (Fig. 42). La rainure a alors la forme d'une courbe fermée à deux spirales avec un point double; sur une moitié de l'une des spirales, le rayon vecteur, par rapport à l'axe de rotation, est assez grand pour produire le soulèvement de la

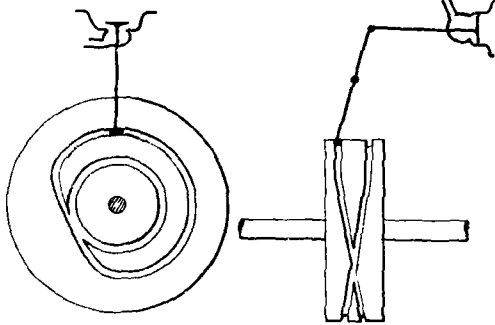


Fig. 42

Fig. 43

soupape; sur tout le reste du tracé, il est plus petit.

On peut considérer comme une variante de ce dispositif, celui qui consiste à tracer la rainure à deux spires sur la surface cylindrique du volant ou d'une pièce spéciale, géométrique analogue

(Fig. 43). C'est alors le déplacement parallèle à l'arbre imprimé au curseur qui est utilisé au moyen de renvois de mouvement convenables, pour produire le soulèvement de la soupape. Nous avons représenté dans la figure 44 un schéma de cette distribution appliquée sur le moteur Peugeot.

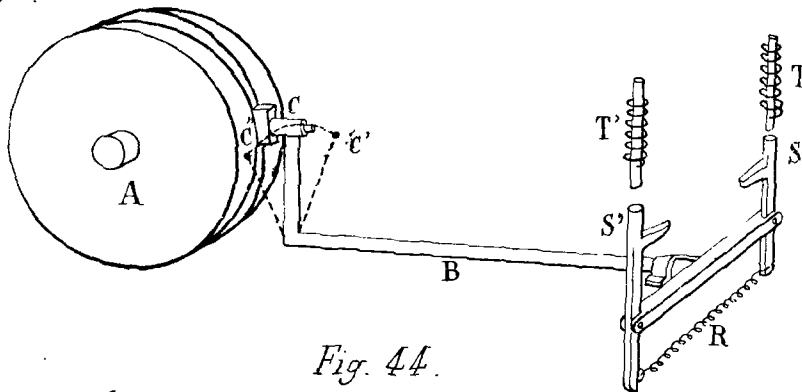


Fig. 44.

Schéma de la distribution du moteur Peugeot

(Baudry de Saunier... L'Automobile théorique et pratique. Voitures à pétrole page 277)

- | | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| A, came de distribution | S, S', culbuteurs |
| C, C'', positions extrêmes du curseur | R, ressort des culbuteurs. |
| B, arbre des culbuteurs | T, T', tiges des soupapes. |

Comme on le voit sur la figure, lorsque la came A, en tournant amène le curseur à sa position extrême C', l'arbre B tourne autour de son propre axe et le culbuteur S' monte frapper la tige de soupape T', tandis qu'au contraire le culbuteur S descend et s'éloigne de T'. Lorsque C' revient en C et passe en C'', le phénomène inverse a lieu;

on peut ainsi commander les soupapes d'échappement de 2 cylindres conjugués.

§ 4 - Echappement.

A la fin de la course motrice du piston, les gaz brûlés sont loin d'être détendus à la pression atmosphérique. Il en résulte que l'ouverture de la soupape d'échappement détermine une détente brusque dont l'effet acoustique est analogue à celui d'une explosion extérieure. Le bruit de l'échappement serait intolérable s'il n'était considérablement atténué par le passage des gaz dans un appareil spécial auquel on a donné le nom de *Lot d'échappement* ou de *silencieux* ou encore de *silencieux*.

Un silencieux d'échappement doit remplir les conditions suivantes :

1^o - Amortir aussi complètement que possible le bruit de l'échappement du moteur tout en produisant une diminution de puissance aussi petite que possible ;

2^o - Etre peu encombrant, léger et simple de construction. ⁽¹⁾

Cet appareil a d'abord été constitué par un simple cylindre en tôle, rempli de paille de fer, à l'une des extrémités duquel arrivait les gaz d'échappement, pour sortir dans l'atmosphère par un orifice situé à l'autre extrémité. Un double effet était ainsi produit : d'une part, le renflement de la canalisation faisait l'office d'une sorte de volant par rapport à l'écoulement gazeux ; d'autre part les mille obstacles

⁽¹⁾ L'Automobile-Club de France vient d'instituer un concours de silencieux qui aura lieu à partir du 1^{er} Mars 1903. Tous les appareils seront essayés au moyen d'un même moteur fixe à mélange toumants, à un seul cylindre de 140 millimètres d'alésage et de 160 millimètres de course, c'est à dire présentant une cylindrée d'environ 2.500 cent. cubes. La compression sera de 4 kilos avec un régime de 400 à 500 évacuations par minute.

ciées par la présence de la paille de fer brisaient en tous sens la direction du courant. Ces deux phénomènes contribuaient à régulariser dans une certaine mesure la vitesse de sortie finale des gaz et, par suite, à atténuer les détonations d'échappement. Mais la paille de fer avait l'inconvénient de s'oxyder rapidement et de tomber alors en poussière; aussi en a-t-on à peu près abandonné l'emploi.

On préfère maintenant utiliser d'une manière prépondérante le premier des deux phénomènes indiqués plus haut, mais en le multipliant par l'interposition de plusieurs renflements et étranglements successifs sur la tuyauterie d'échappement.

A cet effet, le pot d'échappement est divisé en compartiments par des cloisonnements (parfois transversaux), parfois cylindriques concentriques, percés de trous situés alternativement aux deux extrémités, de manière à superposer au phénomène de détente en cascade, dans des capacités successives, celui du changement brusque de direction du courant gazeux. Dans les figures suivantes, nous avons représenté, d'après les Petites Annales Illustrées du Cycle et de l'Automobile, (1^{er} Juin 1901) quelques-uns des types de silencieux actuellement employés (Fig. 45).

§5. Régulation.

Emploi des volants.

Quand une machine motrice est en fonctionnement, son allure doit d'abord être la plus régulière possible tant que la résistance à vaincre reste constante. Cette régularité est, en général, obtenue par l'emploi des volants et par la production d'une grande vitesse de rotation. On connaît l'action des volants qui sont formés d'une masse additionnelle tournant autour d'un axe passant par son centre de gravité et calculée de telle façon que la différence entre la vitesse maxima et la vitesse minima soit égale à une fraction donnée de

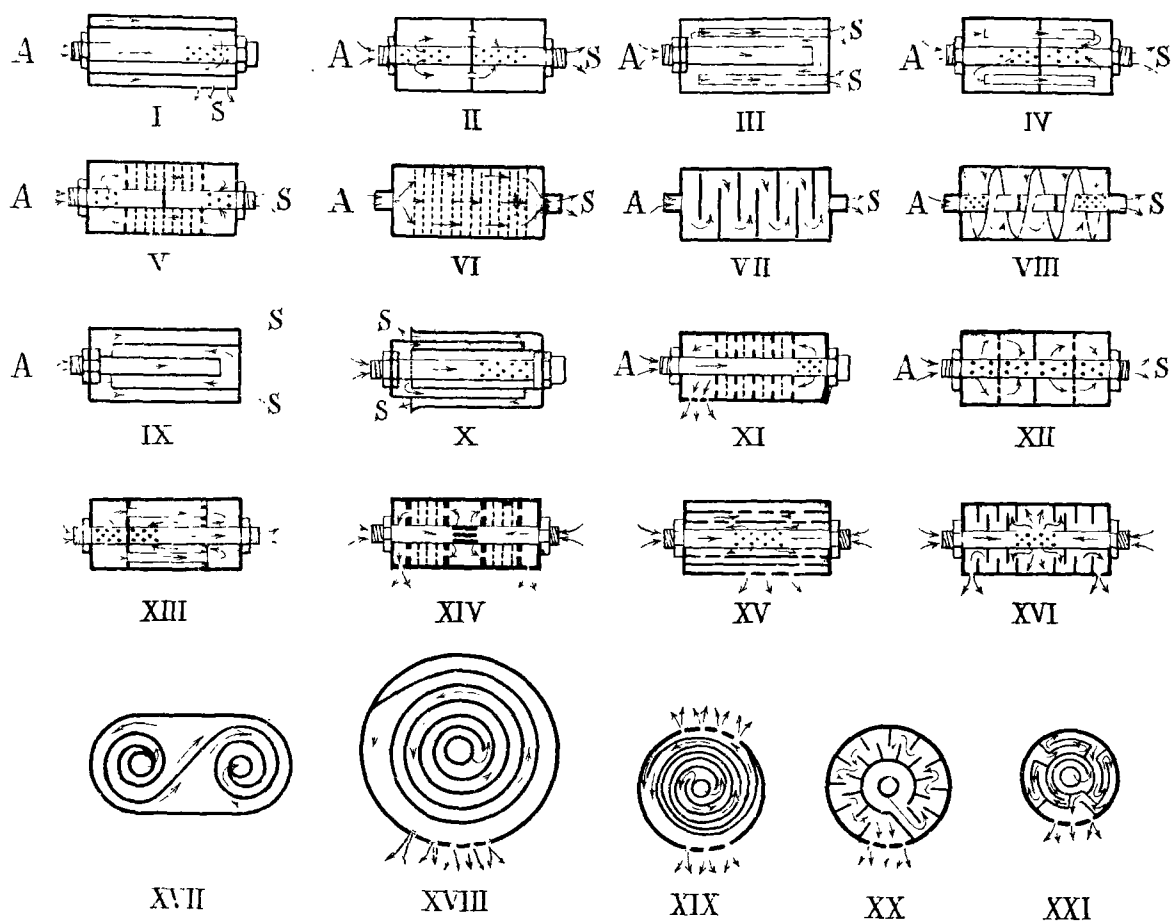


Fig. 45
Types de Silencieux.

- I - Tuyau central, avec trous dans son extrémité la plus éloignée de l'arrivée de la vapeur d'échappement;
" " et y a, de plus, deux chambres annulaires munies de trous en chicane.
- II - Tuyau central avec trous ouvrant dans 2 compartiments séparés par une cloison à trous; tuyau central divisé en 2 sections séparées.
- III - Tubes d'arrivée s'allongent presque jusqu'au bout de la chambre; à cette extrémité se trouve une couronne formée de petits tubes qui s'allongent presque jusqu'à la cloison opposée de la chambre.
- IV - Combinaison des types précédents.
- V - Type issu de II avec 2 cloisons entre lesquelles se trouve une série d'écrans en toile métallique.
- VI - Écrans en toiles métalliques.
- VII - cloisons nombreuses mais incomplètes imposant aux gaz un trajet en chicane.
- VIII - Tube central avec cloison en forme de vis d'Archimède.
- IX-X - Tubes incomplets.
- XI - Cloisons et écrans; la sortie des gaz se fait près de l'arrivée.
- XII - Ressemble à II.
- XIV-XV-XVI - Sont moteurs à 2 cylindres.
- XVII à XXI - représentent des coupes transversales.

la vitesse de régime. L'importance du rôle des volants est plus grande pour les moteurs à explosion à 4 temps que pour les autres moteurs, ces moteurs n'ayant qu'une course motrice sur quatre, il faut parer aux inégalités de vitesse résultant des travaux résistants à vaincre pendant les phases de compression et d'évacuation.

Nécessité de l'emploi
des régulateurs.

Mais il est pratiquement assez rare que la résistance opposée par une machine au moteur chargé de l'actionner soit constante. Cette variation de résistance se produit presque à chaque instant pour un moteur d'automobile. En effet, la voiture qu'il actionne éprouve des résistances variables, avec la nature de la route qu'elle parcourt, suivant les circonstances, la vitesse de cette voiture doit pouvoir être modifiée presque instantanément, ce qui ne peut se faire qu'en débrayant le moteur, en le séparant des organes de transmission de la voiture et par suite en faisant passer rapidement la résistance qu'il doit vaincre d'une valeur appréciable à une valeur presque nulle. Chaque fois que la résistance à vaincre diminue, le moteur a tendance à augmenter sa vitesse ou, comme on dit, à s'emballer; or cet accroissement de vitesse a souvent pour effet de détériorer soit le moteur soit la voiture qu'il entraîne.

Une voiture bien établie doit pouvoir aborder de faibles côtes (jusque vers 3%) à la plus grande vitesse. Si, en effet, on était obligé de changer la multiplication pour tous les accidents de terrain, la conduite d'une voiture automobile serait des plus pénibles. Il faut donc qu'un moteur d'automobile, avec la multiplication qu'on lui donne en palier, soit capable de monter de faibles côtes. Dans ces conditions, il faut qu'il soit plus puissant qu'il n'est nécessaire pour tirer la voiture en palier. La puissance du moteur est alors supérieure à la résistance qu'il éprouve; d'où résulte une accélération de la voiture. Le moteur s'emballer jusqu'à ce que les résistances de toutes sortes, croissant avec la vitesse,

veulent, à égaler la puissance, disponible.

Si donc on veut aller, en palice, à une allure modérée, si on ne veut pas que la vitesse du moteur, même lorsqu'il tourne à vide, dépasse certaines limites, il est indispensable de régler l'emploi de la puissance en la proportionnant à la valeur, actuelle de la résistance. Lorsqu'il s'agit de moteurs toujours surveillés par un conducteur, c'est parfois à ce dernier qu'est confié le soin d'effectuer cette régulation et nous verrons plus loin qu'il en est ainsi pour certains moteurs d'automobiles. Mais, dans la plupart des cas, il y a tout intérêt à s'affranchir de la sujétion d'une surveillance incessante, et à opérer automatiquement le réglage de la puissance fournie par le moteur.

Cel est le but des Régulateurs.

Définition

d'un régulateur. Un régulateur a donc pour but d'empêcher le moteur de dépasser une vitesse déterminée tout en le laissant capable de donner, à un instant quelconque, toute la puissance pour laquelle il a été établi. Dans les machines à vapeur, le régulateur agit en diminuant la période pendant laquelle la vapeur est admise à pleine pression dans le cylindre, par rapport à l'admission correspondant à la puissance maxima. Dans les moteurs à pétrole, on opère la régulation en modifiant de diverses façons le régime des explosions. Si le moteur tend à prendre une vitesse exagérée, on peut :

Divers modes de régulation.

- 1^o - varier l'alimentation en mélange combustible ;
- 2^o - varier l'évacuation des produits brûlés ;
- 3^o - supprimer l'alimentation en fermant l'admission ou l'évacuation ;
- 4^o - varier le point de la course où se fait l'allumage.

Examinons ces différents cas.

Variation de l'alimentation en mélange combustible.

1^o - Nous pouvons opérer la régulation par la variation de la qualité ou de la quantité du mélange combustible.

Variation de la qualité du mélange combustible. (A) Si nous opérons sur la qualité du mélange gazeux, nous devons modifier la composition du mélange tenant en ajoutant à l'air aspiré, par le mouvement du piston une moindre quantité de combustible.

Ce moyen est défectueux. En effet, le mélange introduit dans le moteur s'appauvrit; des ratés peuvent avoir lieu et les pertes par combustion incomplète augmentent rapidement; on peut même arriver à rendre le mélange totalement ininflammable.

Variation de la quantité du mélange combustible. (B) En diminuant la quantité de mélange gazeux introduit dans le moteur, en étranglant l'admission comme on dit encore, on arrive aussi à régulariser la vitesse. C'est la solution qui semble aujourd'hui prévaloir; elle a été notamment employée par la maison Lanhard-Levassor, dans son moteur Centaure, du type Paris-Pierre; nous en verrons plus loin quelques exemples.

Ce mode de régulation, par étranglement est loin d'être parfait. En effet, le volume du mélange admis diminuant, il en est de même de la compression. Cette diminution de compression peut amener des ratés ou tout au moins des combustions incomplètes, causes de réactions secondaires donnant naissance à des produits qui encrassent le moteur. De ce chef, la consommation par unité de travail produit va en augmentant. D'un autre côté, la section de la conduite ⁽¹⁾ d'admission étant diminuée en un point situé entre le carburateur et le moteur, la vitesse de passage des gaz et la dépression dans le carburateur sont plus faibles qu'en marche normale. La succion de l'hydrocarbure au travers du gicleur (organe du carburateur que nous décrirons plus loin) est modifiée et la carburation devient mauvaise.

(1) G. Paillet. La Régulation (Les petites Annales illustrées du Cycle et de l'Automobile - 7^{me} année n° 291. 24 Janvier 1903).

Cette mauvaise carburation, indépendamment de l'odeur à l'échappement, occasionne des condensations d'hydrocarbure sur les parois des conduites, et lorsqu'on veut faire reprendre au moteur sa marche accélérée, il y a encore une perturbation du dosage du mélange gazeux introduit dans le moteur, ce qui provoque une marche irrégulière. Souvent le moteur s'accélère par intermittences, il galope.

Variation de l'évacuation des gaz brûlés. 2^e - Un second mode de régulation consiste à varier l'évacuation des gaz brûlés.

Les constructeurs ont proposé différents modes de cette régulation par l'échappement. Les uns ont pris un dispositif qui exagère l'avance à l'échappement que possède tout moteur à explosions; le gaz qui vient de faire explosion commençant à se détendre à l'extérieur avant le temps normal, le moteur se ralentit.

Les autres emploient un dispositif qui produit le retard à l'échappement, c'est-à-dire qui ouvre la soupape plus tard qu'il ne convient pour un fonctionnement normal; le moteur ne peut expulser qu'en partie les gaz qu'il doit rejeter; le mélange introduit se trouve dilué dans une trop grande quantité de gaz inertes, il y a des ratés et le moteur ralentit.

Les deux systèmes sont defectueux, le premier parce que les gaz que l'on évacue peuvent encore produire du travail; le second parce que l'on emploie la puissance de la machine à produire un travail résistant par la compression de gaz que l'on évacue ensuite.

Il est préférable d'obtenir une régulation progressive par l'échappement soit en produisant la levée plus ou moins haute de la soupape d'échappement; soit en ouvrant en grand cette soupape, mais en variant la durée de sa levée.

Le premier procédé a l'inconvénient de produire une brûlure rapide de la soupape d'échappement et de son siège, action

qui se produit avec une intensité, d'autant plus grande que la levée de la soupape est plus faible. Au contraire, dans le second procédé, employé sur la voiture Hautier, la soupape et son siège restent intacts. Enfin, comme nous le verrons, la maison de Dion a combiné ces deux procédés tout en s'astreignant à ouvrir la soupape d'échappement au même point de la course du piston.

Régulation par tout ou rien. 3^e - Le troisième procédé de régulation est connu sous le nom de Régulation, par tout ou rien.

On le pratique de différentes manières :

Bloquer le clapet d'échappement. (α) - En bloquant le clapet d'échappement, c'est à dire en empêchant l'action de la came d'échappement de se produire sur le clapet qui reste ainsi fermé à demeure.

Les gaz de l'explosion restent emprisonnés à une pression qui est de beaucoup supérieure à la pression de l'atmosphère. Par conséquent, si la soupape d'admission est automatique, elle ne peut s'ouvrir à aucune phase du cycle. Si la soupape d'admission n'est pas automatique, il convient de la bloquer en même temps que le clapet d'échappement, afin de ne pas envoyer des gaz chauds dans le carburateur.

Le défaut capital de ce système est d'enfermer dans le cylindre une masse de gaz qui est, à une très haute température; cette masse, comprimée et brassée pendant quelques secondes, échauffe de façon anormale les parois, en consommant en pure perte l'eau de refroidissement, et en risquant de produire des grippages de la part du piston surchauffé.

On évite cet inconvénient par le procédé suivant :

Laisser ouvert le clapet d'échappement. (β) - En laissant ouvert le clapet d'échappement.

On empêche ce clapet de se fermer au moyen d'un coin que le régulateur vient, à un moment convenable, placer sous la tige du clapet.

Il se produit un va et vient continu d'air plus ou moins pur provenant des tuyauteries d'échappement, qui balai les gaz brûlés et les refroidit. Malheureusement, bien que l'échappement soit ouvert au moment de l'aspiration, comme la grandeur de l'ouverture est toujours insuffisante, comme la vitesse du piston est souvent grande, il se produit une dépression sensible qui ouvre parfois la soupape d'admission automatique. Les gaz ainsi aspirés se trouvent dilués, puis chassés au retour du piston, ce qui constitue une perte de combustible sans production de travail.

On a obtenu une meilleure solution,

Bloquer le clapet d'admission. (γ) - En bloquant le clapet d'admission.

Pendant la course correspondant à l'admission et durant celle qui correspond à l'explosion et à la détente, il se fait un vide partiel dans le cylindre ⁽¹⁾ A la fin de cette dernière course, le clapet d'échappement, soulevé comme d'habitude, laisse brusquement entrer des gaz relativement frais qui viennent lécher la surface intérieure du cylindre et activent son refroidissement. Dans ce cas, la consommation est bien nulle dans l'intervalle des explosions.

L'arrêt des clapets d'admission s'opère soit mécaniquement, soit électriquement, comme le faisait, l'année dernière, la maison Lanhard avec un dispositif qui était d'ailleurs assez compliqué. Chaque soupape d'aspiration était surmontée d'un électro-aimant fixe dont l'attraction la maintenait sur son siège; un commutateur commandé

(1) Les constructeurs qui emploient ce mode de régulation, lui trouvent l'avantage de pouvoir, par ce vide qui se produit en arrière du piston après l'expulsion des gaz brûlés, obtenir une sorte de freinage. Les partisans du *Cours ou Rien* par l'échappement reprochent à ce système de provoquer l'introduction dans la chambre d'explosion du liquide lubrifiant aspiré à travers les espaces libres, entre les parois du cylindre et les segments du piston.

par un régulateur centrifuge, envoyait progressivement un courant dans 1, 2, 3 ou 4 électro-aimants, immobilisant les soupapes d'admission des cylindres correspondants.

A ce mode de régulation se rattache celui qui consiste à faire cesser l'injection du combustible dans le moteur soit en arrêtant le giclage à l'intérieur du carburateur, ⁽¹⁾ soit en employant un carburateur à distribution mécanique. ⁽²⁾

Inconvénients du Tout ou Rien. Quel que soit le moyen employé, le système du tout ou rien, c'est à dire la suppression complète et intermittente de l'alimentation, présente deux inconvénients graves que nous allons signaler.

1^o - En premier lieu, pendant que les explosions ne se produisent plus, la circulation d'eau autour du moteur n'est pas interrompue et continue à le refroidir. Ce refroidissement, s'il devient trop intense, a pour effet de produire des combustions defectueuses et même des ratés d'allumage quand l'alimentation est rétablie par le régulateur.

2^o - Ce mode de régulation par tout ou rien provoque une marche saccadée du moteur qui est nuisible à la conservation du mécanisme. Au moment où les explosions reprennent, la vitesse angulaire étant devenue assez faible, le piston et la bielle se trouvent soumis à des chocs beaucoup plus violents qu'en marche normale. Le conducteur de la voiture lui-même s'en ressent; on fait quelquefois une marche par bonds progressifs qui est loin d'être agréable.

Régulation par variation du point de la course où se fait l'allumage. Le quatrième mode de régulation se fait au moyen de l'allumage. Tous les systèmes d'allumeurs ne conviennent pas pour cet usage. Le système le plus particulièrement employé à cet effet est l'allumage électrique; c'est le seul d'ailleurs qui est

(1) Procédé employé pour la régulation du moteur Schaudel (Cotobloc)

(2) Procédé employé dans les moteurs Gobron-Beillie.

assez maniable pour permettre à coup sûr l'allumage, instantané au point précis choisi pour la régulation de la vitesse.

Nous verrons plus loin, dans le paragraphe relatif à l'allumage, les méthodes pratiques qui permettent de faire varier le point d'allumage.

On peut, de la manière suivante, se rendre compte du mécanisme de la régulation à l'aide de ce procédé. Produisons l'allumage dans le voisinage du point mort; l'explosion a lieu sensiblement, à volume constant puisque, la vitesse du piston changeant de signe en passant par zéro, possède dans ces conditions, une valeur relativement petite et que la vitesse de propagation de l'explosion est certainement très supérieure à la vitesse du piston. D'autre part, on produit l'explosion dans des conditions où le mélange gazeux est sous une pression voisine du maximum de pression, à la fin de la compression; enfin, après l'explosion, la détente est prolongée. Pour toutes ces raisons, la position du point d'allumage qui convient au meilleur rendement, est celle qui correspond à un point de la course du piston situé un peu avant de franchir le point mort.

Au contraire, produisons un retard à l'allumage, c'est à dire arrangeons-nous pour faire jaillir l'étincelle alors que déjà le piston a dépassé le point mort. Dans ces conditions, nous n'avons plus explosion à volume constant, puisque la vitesse du piston n'est plus très petite et n'est pas négligeable par rapport à la vitesse de propagation de l'onde; de plus, l'explosion se produit dans un gaz qui, s'étant déjà détendu est, à ce point de vue, dans des conditions plus défavorables, au point de vue de l'allumage. La puissance du moteur se trouve alors diminuée et par suite la vitesse de la voiture qu'il actionne.

Ce mode de régulation est loin d'être économique; en effet, par suite du retard à l'allumage, une partie du mélange tonnant peut échapper à la combustion et être perdue à l'extérieur sans avoir produit aucun travail correspondant.

Cependant, ce mode de régulation est si maniable et si commode qu'il jouit à cet égard d'une réelle faveur. Toutes les voitures automobiles comportent des dispositifs d'avance et de retard à l'allumage que nous examinerons dans un prochain paragraphe.

Nous allons maintenant indiquer des exemples des trois premiers modes de régulation que nous avons discutés.

Régulateurs étranglant l'admission. Au dernier Salon de l'Automobile, la plupart des Régulateurs automatiques.

Régulateur Aster.

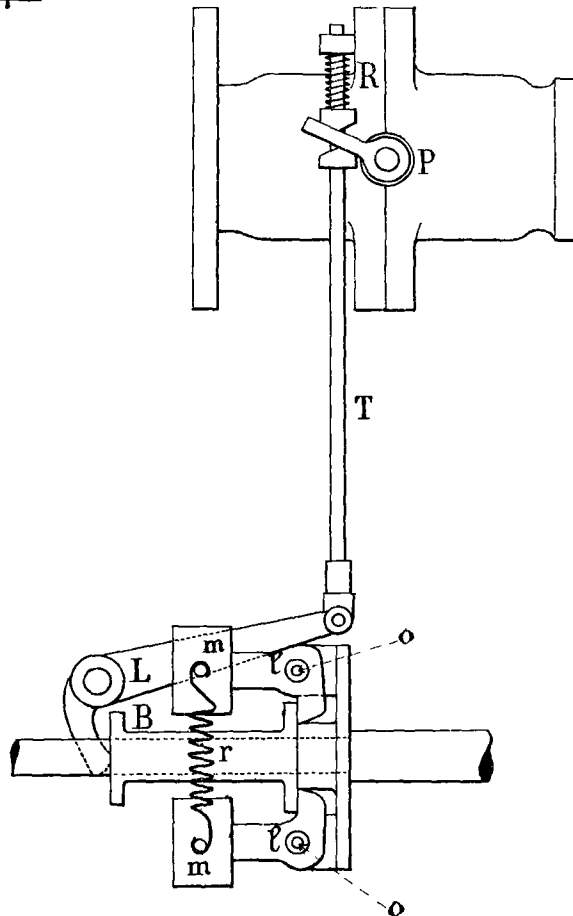


Fig. 46

Principe du régulateur Aster.
(G. Coupan. Bulletin de la Société des Agriculteurs de France. 1^{er} Août 1902. p. 115).

régulateurs (exactement 86%) étaient des régulateurs agissant sur l'admission.

Prenons comme exemple de ce mode de régulation le régulateur du moteur Aster. Il se compose de deux masses *m* fixées sur des leviers courbés *L* articulés en *O* et qui sont entraînés par le mouvement de rotation de l'arbre moteur. Elles s'écartent sous l'influence de la force centrifuge et sont rappelées par le ressort *r*. Les déplacements des petits bras des leviers *L* sont transmis à une bague *B* sur laquelle vient butter un levier courbé *I*. Lorsque la vitesse du moteur augmente, les masses *m* s'éloignent; le levier *I*, poussé par la bague *B*,

se déplace et agit, par l'intermédiaire de la tige T sur le papillon P qui diminue l'orifice d'admission. Un ressort antagoniste, figuré schématiquement en R, ramène tous les organes à la position convenable quand le moteur se ralentit.

Régulateur
Centaure.

Un dispositif automatique tout à fait analogue est appliqué dans le moteur Centaure, type Paris-Pierre, de la maison Panhard et Levassor. Le régulateur, à force centrifuge, entraîne une tige actionnant un piston qui obture plus ou moins l'orifice d'admission (Fig. 47).

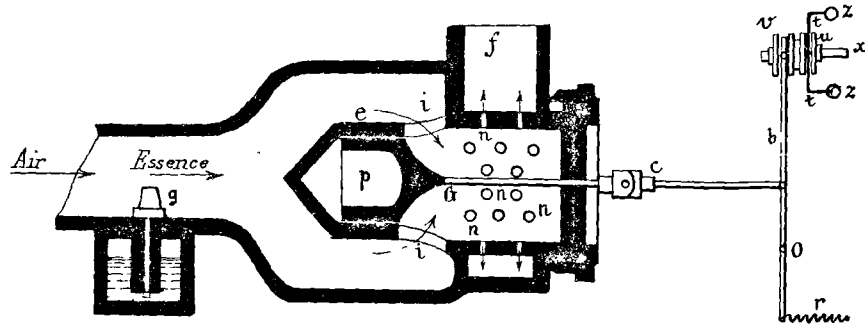


Fig. 47

Mécanisme de régulation du moteur "Centaure".

(Les Petites Annales Illustrées du Cycle et de l'Automobile. 6^e Année, n° 236. 14 Janvier 1902.)

(Le piston p peut obturer plus ou moins les ouvertures i de communication du carburateur avec le cylindre.)

- z, z, boules du régulateur à force centrifuge;
- t, t, tiges articulées;
- u, plateau à rainure pouvant se déplacer à droite ou à gauche sur l'arbre x;
- v, plateau à rainure entraîné par le plateau u; dans la rainure est logée la tête du levier b;
- b, levier qui peut pivoter autour du point o;
- r, ressort ramenant le levier b à sa position initiale;
- p, piston commandé par b au moyen de la tige de commande c;
- e, cylindre dans lequel se meut le piston évidé p;
- i, ouvertures de communication des carburateurs avec le cylindre du moteur;
- n, ouvertures de communication avec le cylindre.

Régulateur Clément

Régulateur Clément.

Régulation sur
l'admission.

Moteur Clément de
8 chevaux.

(Locomotion 2^e Année n° 19)

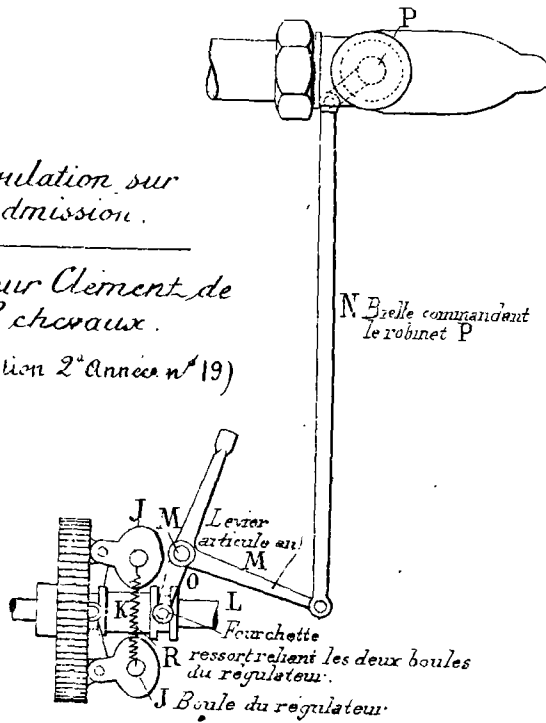


Fig. 48

Le régulateur auto-
matique sur l'admission
du moteur Clément
est fondé sur le
même principe.
(Fig. 48).

Régulateurs à main

Dans les voitures qui n'ont pas de régulateur automatique, on peut, à la main, produire l'étranglement de l'admission, étranglement qui peut, soit pouvoir aller jusqu'à l'arrêt complet du moteur, soit être limité par une butée à la valeur nécessaire pour permettre la continuation de la marche du moteur séparé de la voiture par le débrayage et n'ayant plus, par suite, à vaincre que ses résistances passives. Ce dispositif permet d'éviter tout tâtonnement lors de la mise en stationnement de la voiture; l'arrêt complet du moteur est alors obtenu par l'interruption du courant électrique d'allumage, au moyen du commutateur dont sont toujours munies les voitures qui emploient ce mode d'allumage.

Nous représentons dans la figure 49 le schéma de la commande de l'admission variable dans une voiture légère Darracq.

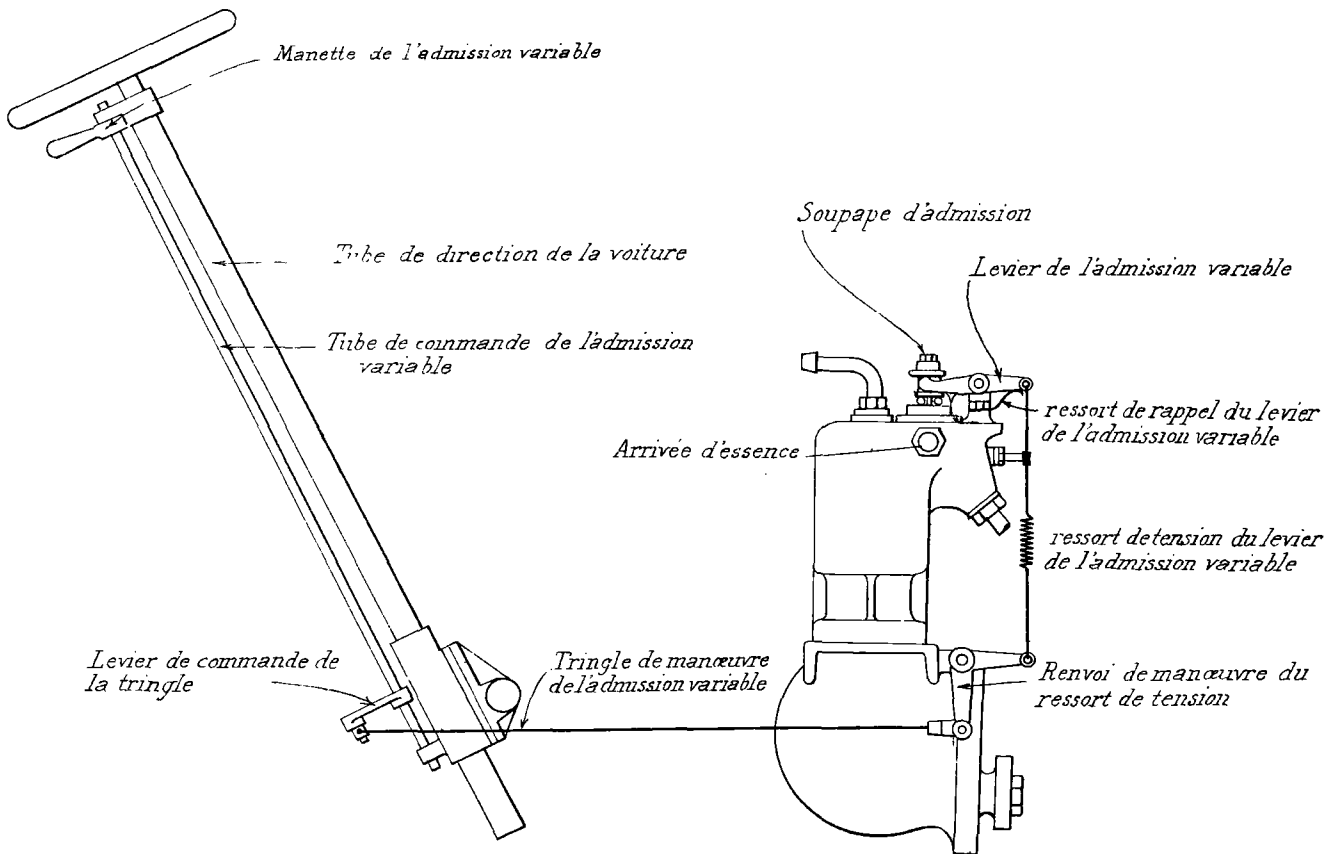


Fig. 49

Voiture légère Darracq
Schéma du mouvement de l'admission variable.

(Paul Sencier. *La Mécanique à l'Exposition de 1900. Les Automobiles et les cycles* p. 20. 16^e livraison de la publication Dunod)

La voiture Morris type 1902 possède en outre d'une régulation automatique sur l'échappement une régulation à la main que nous avons représentée dans les figures 50 et 51.

Régulateur et ord.

Régulateur
Mors.

Régulation sur l'admission

Régulation à la main de la voiture Mors
(Locomotion, 2^e Année, n° 38)

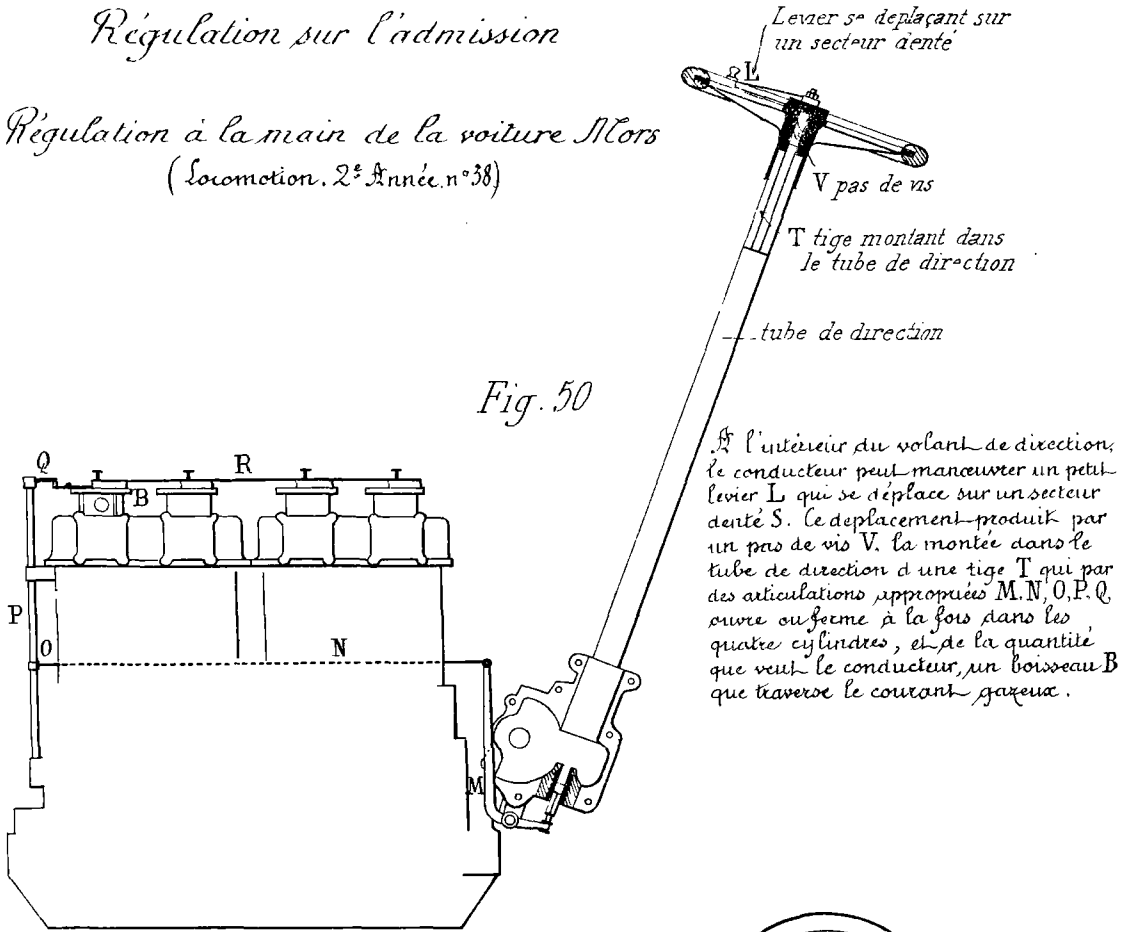


Fig. 50

Levier *s* se déplaçant sur un secteur aiglé

V pas de vis

T tige montant dans le tube de direction

tube de direction

À l'intérieur du volant de direction, le conducteur peut manœuvrer un petit levier *L* qui se déplace sur un secteur aiglé *S*. Ce déplacement produit par un pas de vis *V*, la montée dans le tube de direction d'une tige *T* qui par des articulations appropriées *M, N, O, P, Q*, ouvre ou ferme à la fois dans les quatre cylindres, et de la quantité que veut le conducteur, un boisseau *B* que traverse le courant gazeux.

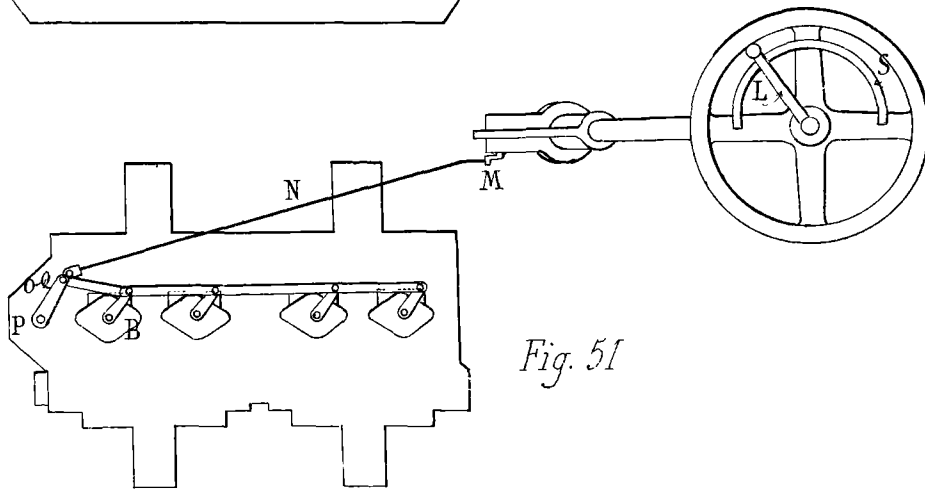


Fig. 51

Régulation progressive de l'échappement. Si la régulation progressive sur l'admission est actuellement la plus répandue, la régulation progressive sur l'échappement compte de chauds partisans parmi lesquels nous citons de Dion-Bouton, Gillet-Forest, Otto, Hautier.

Nous allons étudier ce mode de régulation sur le moteur de Dion type 1902 (Fig. 52)

Régulateur de Dion.

Dans la figure 52, A est une pièce à excentrique qui peut être amenée de la position N°3 (plein échappement) à la position N°9 (échappement nul). Ces deux positions extrêmes sont limitées par un excent B, de même que le bras B avec son galet ou roulette E, est limité dans ses courses extrêmes par la butée a. L'ensemble peut ainsi prendre les positions successives qu'indique le schéma N°1 de la figure 52.

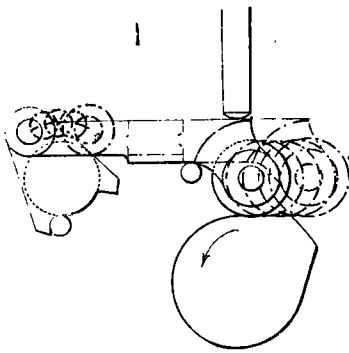
La came D qui commande la levée de la soupape d'échappement opère par l'intermédiaire du bras B dont le galet E roule sur elle; bras dont les déplacements, provoqués par l'excentrique A, modifient au gré du conducteur la levée de la soupape.

Aux périodes de pleine ouverture (schémas 3, 4, 5 de la fig. 52) la soupape est soulevée de la quantité ST, c'est à dire des quelques millimètres que le constructeur a calculés être utiles au meilleur échappement. Nous avons fait passer une ligne imaginaire JK par les points de contact (schémas 3 et 5) de la tige C et du levier B afin de faire bien comprendre la poussée que reçoit la soupape au moment de son ouverture maxima (schéma 4).

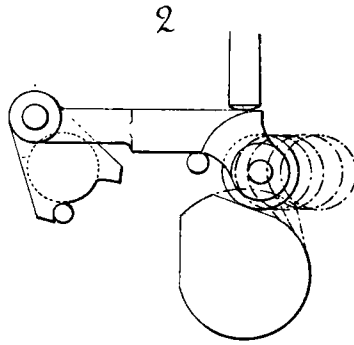
La maison de Dion s'est proposée de résoudre le double problème suivant.

1^o - Ouvrir la soupape d'échappement toujours au même point de la course du piston.

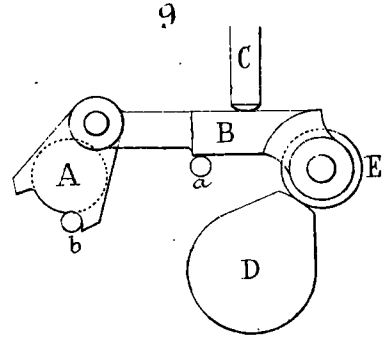
2^o - Ouvrir la soupape d'échappement d'une quantité variable pendant un temps variable, afin que le moteur puisse conserver sa



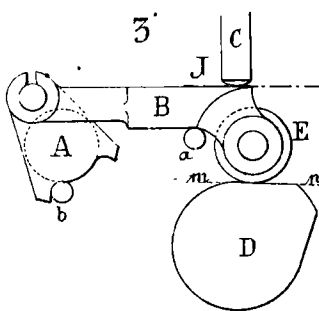
Joint d'ouverture du clapet



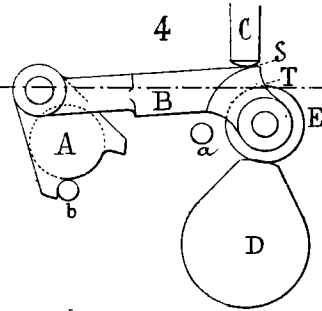
Joint de fermeture du clapet



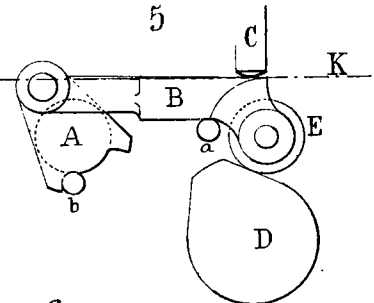
Position du galet et de la tige du clapet.
(le moteur marchant à échappement coupé)



Commencement d'ouverture

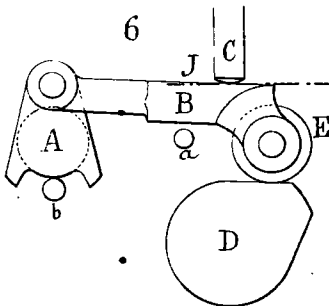


Ouverture maxima

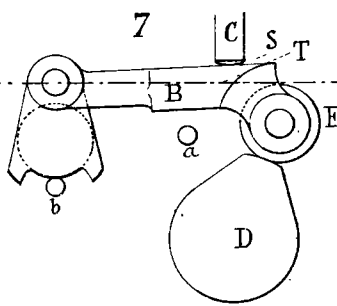


Joint de fermeture.

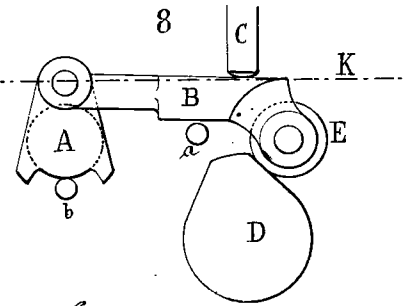
Position du galet et de la tige du clapet
(le moteur marchant à plein échappement.)



Commencement d'ouverture



Ouverture maxima



Joint de fermeture.

Position du galet et de la tige du clapet
(le moteur marchant à échappement coupé)

Fig. 52

Régulateur du moteur De Dion-Bouton 1902 (Types 6 et 8 chevaux)
(Locomotion. 2^e Année. n° 16. 18 Janvier 1902)

vitesse en consommant moins, par exemple en palier ou en descente.

1^{er} problème - Le point d'ouverture de la soupape ne doit jamais être modifié quels que soient les déplacements latéraux du bras B.

Pour parvenir à la solution de ce problème, on donne à la came D deux flancs rectilignes dont l'un est représenté en $m'n$ dans le schéma 3 de la figure 52. Tant que la face $m'n$ est horizontale, le galet E reposant sur cette face n'est pas repoussé vers le haut qu'il soit peu engagé sur cette face (schéma 3) ou qu'il y soit beaucoup engagé (schéma 6). Le galet E ne commence à être repoussé et la soupape d'échappement ne commence à s'ouvrir que lorsque cette face commence à quitter la position horizontale et à tendre vers la position verticale. Le moment du commencement de la levée de la soupape d'échappement est donc toujours le même et ne saurait jamais être ni avancé ni retardé.

2^{me} problème - La levée de la soupape doit être amoindrie et en même temps sa durée doit être diminuée.

Si l'on regarde les schémas N°3 et N°6 de la figure 52, on voit facilement que la durée de la levée est moindre dans le N°6 que dans le N°3. En faisant, au moyen du levier B, avancer le galet E sur la partie $m'n$, on diminue le temps pendant lequel la soupape reste ouverte. La simple inspection des dessins montre que si d'une part on considère les schémas N°3 et 5 et si d'autre part on considère les schémas N°6 et 8, on voit que le temps mis par le galet E pour aller de la position 3 à la position 5, est plus grand que le temps mis par ce même galet pour aller de la position 6 à la position 8. Les positions 6, 7, 8, correspondent donc à une durée de levée de soupape qui est moindre que celle qui correspond - aux positions 3, 4, 5.

D'autre part, le point où la came a l'avance la plus complète sur la tige de la soupape est celui où le centre de la came D, le centre du galet E, l'axe de la tige C forment une seule ligne

droite. C'est à peu près le cas que présente le schéma A où l'ouverture est en effet maxima. ⁽¹⁾

On voit que plus nous éloignerons le galet E de la verticale passant par l'axe de la tige C et le centre de la came D, plus nous diminuerons la levée de la soupape d'échappement. En position 4, la soupape s'ouvre de la hauteur ST; en position 7, cette hauteur ST est déjà bien diminuée; en position 9, elle est nulle, le galet étant simplement effleuré par la came.

Ainsi la manœuvre du levier B au moyen de l'excentrique A permet à la fois de faire varier la hauteur de levée de la soupape d'échappement et d'augmenter ou de diminuer la durée de cette ouverture, c'est à dire d'avancer ou de retarder le moment de la fermeture puisque l'instant de l'ouverture reste toujours le même.

Ce dispositif permet donc :

- 1^o - de faire toujours au même instant l'ouverture du clapet d'échappement jusqu'à ce que cette ouverture devienne nulle;
- 2^o - de diminuer jusqu'à zéro la levée de la soupape d'échappement;
- 3^o - de faire varier au gré du conducteur le point de fermeture du clapet d'échappement.

Comme le fait remarquer M^e Baudry de Saunier à qui nous empruntons cette description ⁽²⁾, ces conditions permettent de donner aux moteurs à pétrole une souplesse comparable à celle des moteurs à

⁽¹⁾ La ligne verticale passant par l'axe de la tige C ne passe pas tout à fait par le centre du galet E parce que la levée serait alors trop grande et dépasserait le nombre de millimètres qu'a décidé le constructeur. Le réglage de la levée de la soupape d'échappement s'opère donc par la position de l'organe B qui, placé trop à gauche, empêcherait la soupape de se lever jamais de la quantité voulue, et qui, placé trop à droite, lui donnerait une levée trop grande à plein échappement.

⁽²⁾ F. Baudry de Saunier. La voiture de Dion-Bouton 1902 (Locomotion. 2^e année. N°16, p. 39)

à vapeur et d'utiliser en tout temps la totalité de la puissance du moteur sans gaspillage d'essence.

Régulation par Tout ou Rien.

Dans la régulation par Tout ou Rien, on opère soit en bloquant le clapet d'admission lorsque celui-ci est commandé. Les dispositifs les plus répandus consistent à interposer entre la came de commande et l'extrémité de la tige de la soupape une pièce mobile, appelée Culbuteur qui, en temps normal, vient frapper l'extrémité de la tige et soulever la soupape, mais qui peut basculer sous l'action d'une pièce mise en mouvement par le régulateur; dans ce cas, le culbuteur passe à côté de l'extrémité de la tige de la soupape qui reste fermée (Fig. 53).

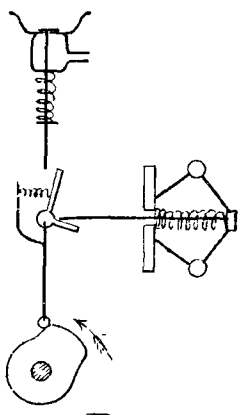


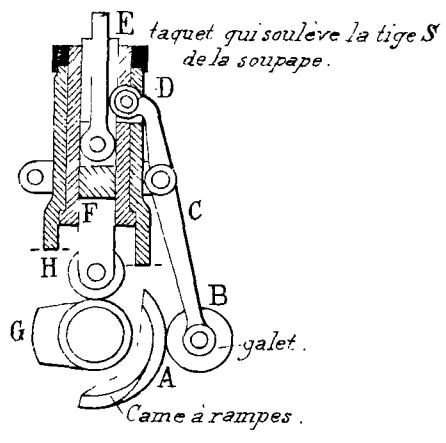
Fig. 53

Comme exemple, d'une telle régulation opérée sur l'échappement, on peut citer la régulation automatique, qui est installée sur les voitures Mors en même temps que la régulation à la main sur l'admission. Le régulateur (Fig. 54), déplaçant sur l'arbre une came à rampes A sur laquelle roule le galet B terminus d'un levier DB articulé en C, produit la chute latérale du taquet E. Il en résulte que, lorsque la came G tend à soulever la soupape d'échappement S par les pièces H et F, le taquet E la manœuvre et le moteur ralentit.



Fig. 54
Régulation sur l'échappement

Régulateur automatique de la voiture Mors. (Locomotion. 2^e Année. n° 38)



L'effet est produit à la fois sur les quatre soupapes du moteur.

Laisser ouvert le clapet d'échappement.

On peut ^{encore} produire la régulation par Tout ou Rien en laissant ouverte la soupape d'échappement. Comme exemple de régulateur maintenant ouverte la soupape d'échappement, nous citons le régulateur Merlin (Fig 55).

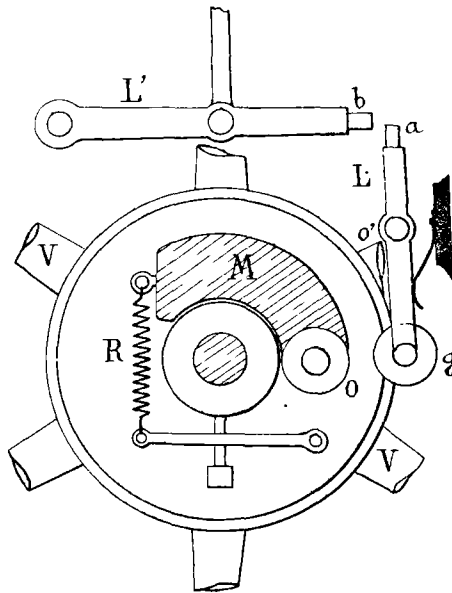


Fig. 55

Principe du régulateur Merlin.
(G. Coupan. Bulletin de la Société des Agriculteurs de France. 1^{er} Août 1902. p. 118)

d'un mouvement alternatif par une came non représentée sur le dessin; lorsqu'au moment où il vient d'être soulevé, l'extrémité a du levier se place au-dessous de b, le levier L ne peut plus retomber et la soupape d'échappement reste ouverte.

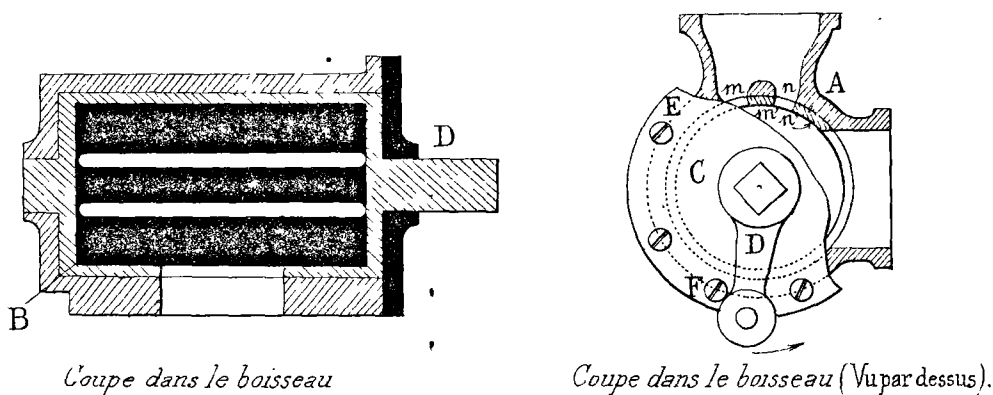
Suppression de l'admission.

Enfin on peut produire le Tout ou Rien en supprimant l'admission.

Régulateur Déchamps.

M^r Déchamps de Bruxelles supprime l'admission en la fermant

brusquement au moyen d'un robinet dont on voit des coupes dans la figure 56. La manœuvre se fait par un levier fixé en D. Le gaz, aspiré du côté A, pénètre dans le boisseau par les orifices m et n en forme de lames assez étroites. Lorsqu'on manœuvre le levier D, dont la course est limitée par les arrêtés I', les tranches pleines m' et n' viennent obturer les orifices m et n et le moteur est privé de gaz. On voit que la régulation ne se fait pas progressivement mais brusquement; car la fermeture des



Coupe dans le boisseau

Coupe dans le boisseau (Vu par dessus).

Fig. 56
Voiture Déchamps
Robinet d'obturation de l'admission.
(Locomotion. 2^e Année. n° 24).

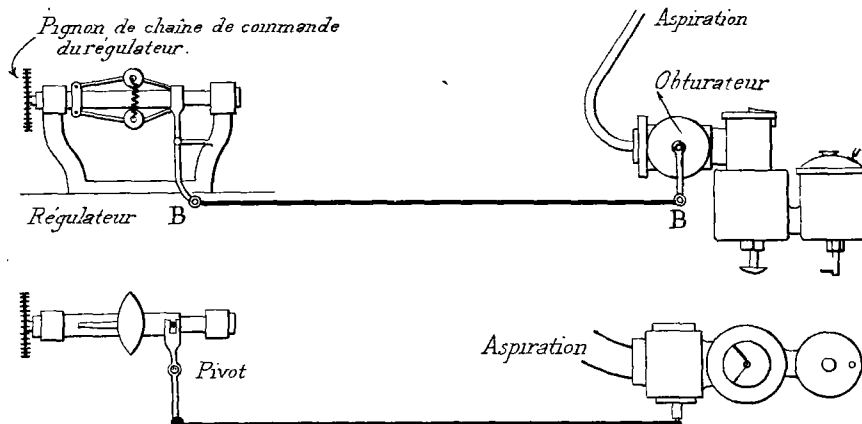


Fig. 57
Régulateur Déchamps
(Locomotion 2^e Année. n° 24. 15 Mai 1902)

orifices lamellaires dont la section totale est égale à celle de l'orifice annulaire A, est obtenue même par un très léger déplacement du levier.

La commande du biseau qui est représentée dans la fig. 57 s'obtient au moyen d'un régulateur mis en mouvement par une chaîne.

Régulateur Gobron-Brillie.

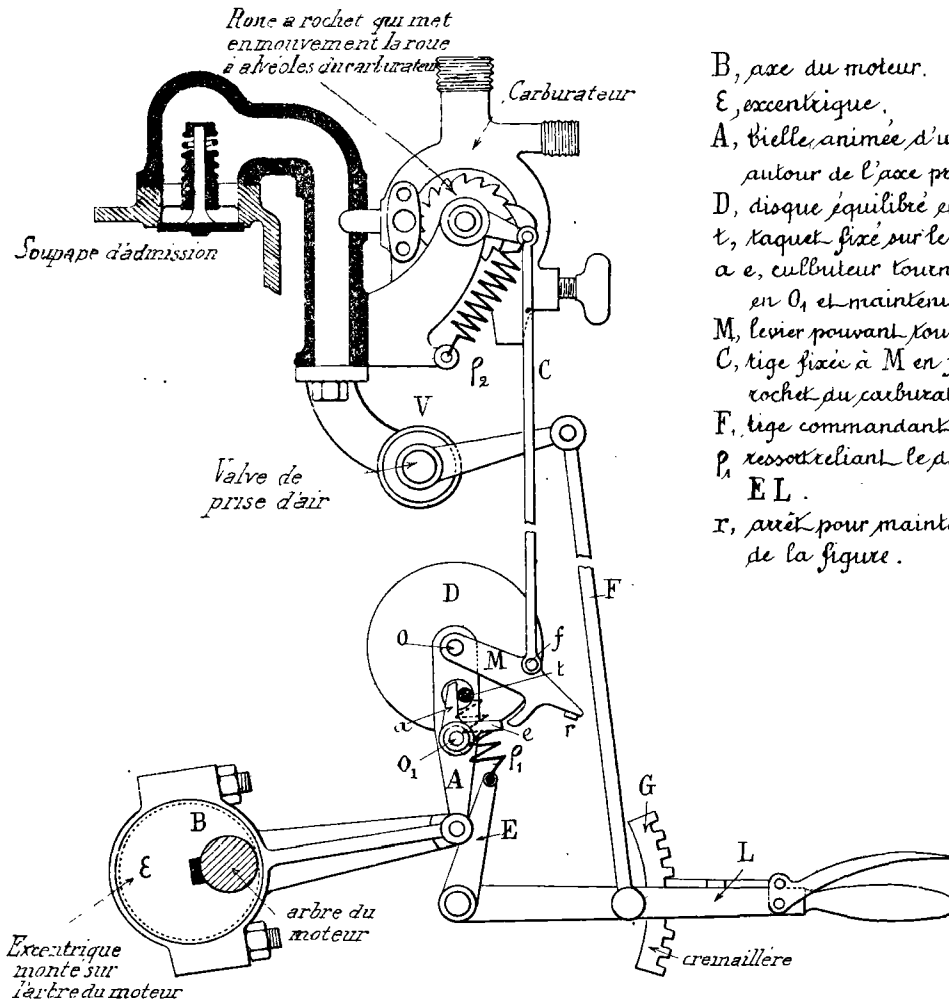
A ce mode de régulation se rattache la régulation par suppression de l'alimentation dans les moteurs pourvus d'un distributeur mécanique. Nous allons donner comme exemple la régulation si curieuse et si remarquable du moteur Gobron-Brillie.

Nous verrons, en étudiant la carburation, que certains carburateurs sont constitués par des distributeurs mécaniques qui, à chaque aspiration, envoient dans le moteur une quantité, toujours la même de corps combustible. A ce type de carburateurs appartient le distributeur Gobron-Brillie. De ce distributeur, nous voyons dans la figure 58 une roue à rochet mise en mouvement par la tige C, animée d'un mouvement de va et vient dans une direction verticale. Si on peut empêcher ce mouvement, la roue à rochet ne tourne plus et le distributeur supprime l'alimentation du moteur en mélange combustible. Or, on supprime cette alimentation toutes les fois que la vitesse du moteur tend à s'écarter de sa valeur normale.

Cette régulation de la vitesse du moteur s'obtient de la manière suivante.

Sur l'arbre B du moteur est calé un excentrique E qui donne un mouvement de va et vient à la bielle A, mobile autour de l'axe OO' (Fig. 59) [cet axe est projeté en O dans la figure 58]. Autour de ce même axe OO' peut tourner une masse équilibrée en forme de disque D; ce disque est fou sur l'axe OO' . A ce disque D est fixé un taquet t qui traverse une fenêtre creusée dans la bielle A (Fig. 59). Sur la bielle A est fixé un axe O_1 , autour duquel peut tourner parallèlement au plan de A un culbuteur ac, (Fig. 58) [on n'en voit

que la branche a dans la figure 59) qui est maintenue par un ressort (Fig. 59) dans la position indiquée sur la figure 58, c'est à dire dans une position telle que le doigt a du culbuteur vienne s'appuyer sur le taquet t. Le doigt e du culbuteur vient rencontrer le levier M qui peut être animé d'un mouvement alternatif autour de l'axe O; c'est



- B, axe du moteur.
- E, excentrique,
- A, bielle, animée d'un mouvement alternatif, autour de l'axe projeté en O.
- D, disque équilibré et fixé sur l'axe projeté en O.
- t, taquet fixé sur le disque D.
- a e, culbuteur tournant autour de l'axe projeté en O, et maintenu en place au moyen d'un ressort.
- M, levier pouvant tourner autour de l'axe projeté en O.
- C, tige fixée à M en fer actionnant la roue à rochet du carburateur.
- F, tige commandant la valve de prise d'air.
- p₁, ressort reliant le disque D au levier de commande E L.
- r, arrêt pour maintenir le levier M dans la position de la figure.

Fig. 58

Commande automatique du Régulateur à distribution mécanique
Gobron-Brillie'

(Worby-Beaumont Motor Vehicles and Motors)

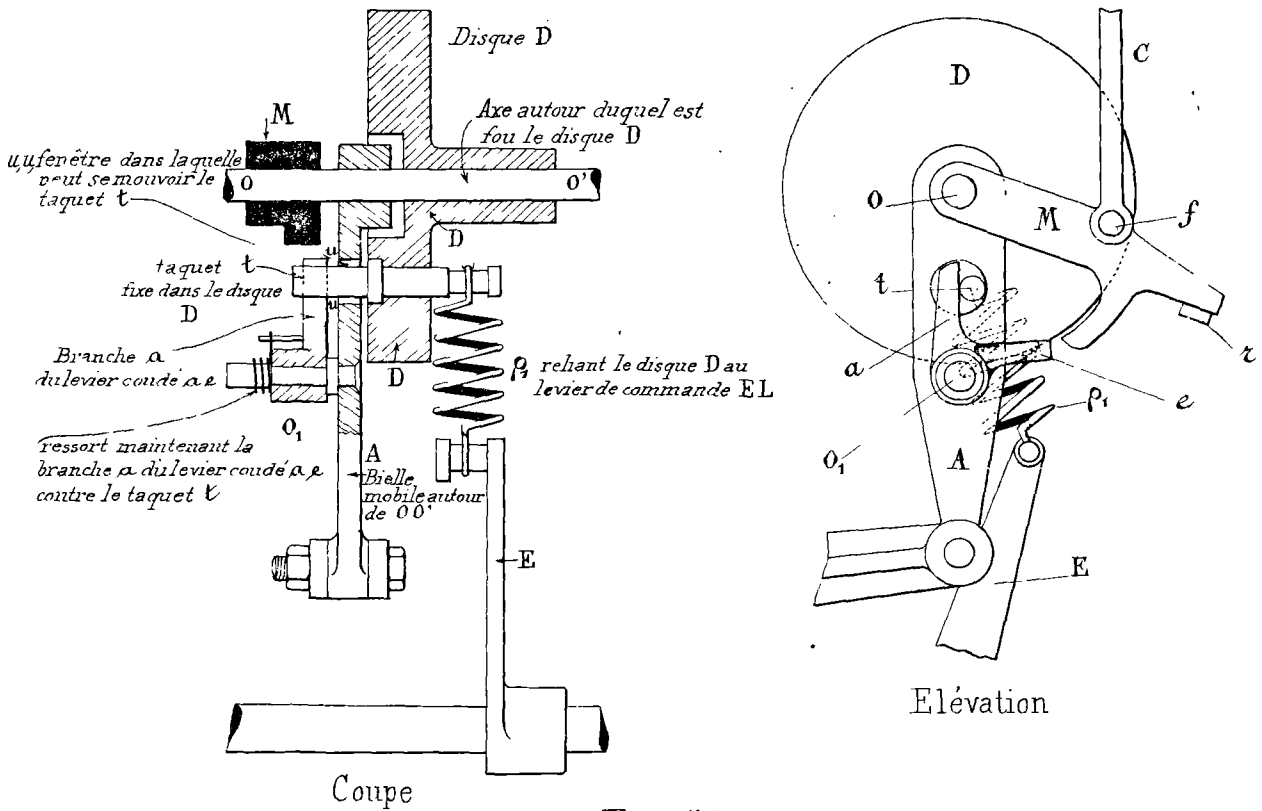


Fig. 59

Détails du régulateur Gobron-Brillie.
(Wobey-Beaumont. Motor Vehicles and Motors.)

à ce levier M qui est fixé en f, la tige C qui, suivant le mouvement du levier M, fait tourner la roue à rochet qui actionne le distributeur mécanique.

Supposons que le moteur tourne à sa vitesse normale et que les divers organes que nous venons de décrire aient la position marquée dans la figure 58. Sous l'influence de l'excentrique E, la bielle A est animée d'un mouvement de va et vient autour de l'axe O; elle entraîne dans son mouvement le culbuteur ae, lequel par le doigt a pousse le taquet t et par suite le disque D, et par le doigt e vient pousser le levier M. Celui-ci prend alors un mouvement alternatif autour de

l'axe O , mouvement qu'il transmet à la tige C et par elle à la roue à rochet du distributeur mécanique.

Pour donner au disque D un mouvement alternatif identique à celui de la bielle A , c'est-à-dire pour que le taquet t reste toujours en contact avec le doigt a du culbuteur ac , on ramène ce disque à une position déterminée au moyen d'un ressort p_1 (Fig. 58 et 59) qui peut être plus ou moins tendu au moyen d'une tige H commandée par un levier I pourvu d'une crémaillère G . Ce levier I commande, par la tige F , l'ouverture d'une valve supplémentaire V d'arrivée de l'air qui doit se mélanger au combustible liquide fourni par le distributeur mécanique.

Ceci posé, supposons que le moteur vienne à s'emballer. Il va entraîner dans son mouvement la bielle A et le culbuteur ac autour de l'axe O ; le doigt c se relève et vient manquer le levier M . La tige C n'est plus actionnée; il en est de même de la roue à rochet et, le distributeur mécanique étant arrêté, l'admission de mélange combustible est coupée. La vitesse du moteur diminue; sous l'influence du ressort enroulé autour de l'axe O , le culbuteur revient à sa position primitive (représentée sur la fig. 58); le doigt c rencontre de nouveau le levier M et le distributeur mécanique est de nouveau mis en mouvement.

Voici comment est obtenue la résistance que rencontre le doigt a du culbuteur ac lorsque la vitesse de rotation du moteur vient à augmenter. Le disque D fou sur l'axe O , qui porte le taquet t constamment en contact avec le doigt a du culbuteur ac , possède une certaine masse et par suite une inertie assez grande. Lorsque la vitesse du moteur vient à augmenter, le doigt a du culbuteur ac rencontre au contact du taquet t une résistance due à l'inertie du disque D dont la vitesse ne croît pas aussi rapidement que celle du

culbuteur ae , entraîné par la bielle A . C'est ce retard à l'accroissement de la vitesse du mouvement du disque D qui joue le rôle de l'arrêt dont nous avons parlé plus haut, qui fait culbuter ae , qui produit le relèvement du doigt e et arrête le distributeur mécanique.

On conçoit que cette résistance due à l'inertie du disque D est d'autant plus grande que le ressort p_2 est plus tendu. Dans ces conditions, le doigt e du culbuteur ae est presque constamment relevé; le distributeur mécanique est plus souvent arrêté; la vitesse du moteur diminue et en même temps l'arrivée supplémentaire de l'air par la valve V .

Retardateur.
Accélérateur.

Nous venons d'étudier les différentes sortes de régulateurs. Mais il est nécessaire que le conducteur ait un moyen de réglage à la main qui lui permette de modérer momentanément l'allure du moteur, soit pour en atténuer la fatigue lorsque son action sur la voiture est supprimée, soit lorsque des animaux rencontrés s'effraient du bruit du fonctionnement, soit lorsqu'il y a lieu de ralentir la voiture sans recourir aux mécanismes de changements de transmissions.

Dans les voitures à régulateur automatique, le procédé consiste le plus souvent à agir à la main et par un intermédiaire élastique pour contrebalancer plus ou moins le ressort antagoniste des boules ou de la masse inerte du régulateur; cela revient en somme à modifier le réglage de cet appareil, qui limite alors la vitesse à une valeur moindre que celle de la marche normale. Généralement on peut, par le même organe de commande appelé Retardateur pousser cette diminution jusqu'à l'arrêt complet du moteur. ⁽¹⁾

Par contre, certaines voitures possèdent un autre organe analogue, mais agissant en sens inverse, dit Accélérateur. Il a

(1) Bochet. — Les Automobiles à pétrole. — Annales des Mines. 9^{me} série. T. 17. p. 39.

pour effet d'augmenter l'action du ressort antagoniste du régulateur et même de paralyser complètement cet appareil. Il est employé lors que, sans souci de la fatigue des pièces du mécanisme, le conducteur veut faire développer momentanément au moteur une puissance plus grande que sa puissance normale, soit pour la montée d'une côte, soit dans une course de vitesse, soit dans toute autre circonstance analogue.

Comme le fait remarquer M^e Bochet « l'emploi de l'accélérateur n'est efficace qu'autant que les conditions de la marche, « rampe, état de la chaussée, rapport entre la vitesse de rotation du « moteur et la vitesse de translation de la voiture, ne sont pas telles « que la consommation d'énergie à chaque cycle du moteur soit égale « à la partie utilisable de celle développée par une explosion; car « alors le régulateur ne tend pas, dans son fonctionnement naturel, « à entrer en jeu, et il est indifférent de le paralyser ou non ».

§ 6 - Réservoirs⁽¹⁾ et Carburateurs.

Tuyauterie.

L'essence de pétrole, ou l'alcool que l'on emploie dans les automobiles émettent, à la température et sous la pression atmosphérique habituelle, des vapeurs inflammables capables de former avec l'air, dans des limites assez étendues, de proportions respectives, des mélanges détonants.

Il est donc tout d'abord nécessaire à la sécurité que les réservoirs et tuyaux destinés à contenir ces liquides soient bien étanches; les pièces de tuyauterie sont, à cet effet, soigneusement brasés, et les tuyaux, toujours de faible diamètre, contournés, autant que possible sur une

⁽¹⁾ Les détails sur la tuyauterie et les réservoirs sont empruntés à l'excellent travail de M^e Bochet sur les Automobiles à pétrole, travail publié dans les Annales des Mines et auquel nous avons eu souvent recours.

partie de leur longueur, en spires, qui les rendent moins sensibles aux effets des tressautements et secousses provenant tant de la marche de la machine, que des irrégularités de la chaussée.

Réservoir.

Les réservoirs, de leur côté, sont généralement fermés par des bouchons à vis; le remplissage s'en effectue souvent au moyen d'un entonnoir qui se visse à la place du bouchon, afin d'éviter tout épanchement extérieur d'essence.

Lorsque les réservoirs sont enfermés dans la carrosserie et protégés ainsi des chocs extérieurs, leur construction ne présente rien de bien particulier et ressemble à celle des bidons de ferblanterie. Si, au contraire, comme cela arrive souvent, le réservoir est placé extérieurement dans le but soit d'éviter son échauffement, possible, soit d'en rendre la surveillance plus facile et continue, soit pour tout autre motif, il doit présenter une solidité plus grande.

Il est alors souvent construit en tôle de cuivre rouge, dont les diverses plaques, aussi peu nombreuses que possible, sont réunies par agrafage et brasure; on arrive ainsi à constituer des réservoirs capables de supporter sans déchirure des déformations considérables sous l'effet de chocs extérieurs violents.

Beaucoup de réservoirs sont simplement établis en tôle de fer; les coutures sont alors agrafées et rivées, l'étanchéité étant obtenue par la soudure à l'étain.

La plupart du temps, le réservoir est à air libre, c'est à dire que la pression atmosphérique y règne au-dessus de l'essence liquide, la communication avec l'atmosphère étant d'ailleurs établie, pour éviter les projections extérieures de liquide, par un très petit trou, généralement percé dans le bouchon à vis. Le réservoir est alors placé à un niveau qui permet l'écoulement naturel de l'essence par un tuyau partant du bas du réservoir. L'origine de ce tuyau est souvent

munie d'un robinet à biseau ou à pointeau, dont la manœuvre est placée aussi, à portée que possible du conducteur et qui permet soit de régler l'écoulement de l'essence, soit de l'arrêter complètement; cette manœuvre peut, en effet, devenir nécessaire en cas de fuite reconnue à la tuyauterie et se fait toujours en cas de cessation de fonctionnement.

Quelques constructeurs emploient des réservoirs complètement fermés, dans lesquels l'écoulement est déterminé par une pression d'air de 200 à 300 grammes au maximum par cent. carré. Cette disposition est favorable à la régularité de l'écoulement, malgré les variations d'inclinaison longitudinale, ou transversale de la route; elle supprime l'obligation de placer le réservoir à un niveau notablement supérieur à celui du carburateur et permet même de l'installer à la partie inférieure de la voiture, lorsque cela est commode pour l'arrangement général; dans ce dernier cas, le robinet d'arrêt de la sortie d'essence est remplacé par un robinet d'évacuation de l'air comprimé.

Par contre, il est superflu de faire remarquer que le moindre défaut d'étanchéité peut, dans le cas d'un réservoir sous pression, constituer un assez grave danger d'incendie; il est alors nécessaire que la construction du réservoir soit particulièrement soignée; malgré la faiblesse de la pression qu'il est destiné à supporter, il doit être établi comme un véritable récipient de chaudronnerie.

La pression est donnée le plus souvent par une petite pompe à main, du type de celles employées pour le gonflement des bandages pneumatiques; elle est mesurée par un petit manomètre et limitée par une soupape de sûreté, ces deux appareils étant greffés sur le tuyau de remplissage de l'air.

Nous devons mentionner aussi, bien qu'il ne soit pas jusqu'ici répandu en France, un système dans lequel la pression est produite automatiquement par une dérivation de l'échappement du moteur, amenée

Dans une petite chambre munie de deux soupapes convenablement réglées, dont l'une donne accès dans le réservoir d'essence et l'autre dans l'atmosphère; la première s'ouvre à chaque échappement de gaz brûlé du moteur, tant que la pression dans le réservoir d'essence n'a pas atteint la limite voulue; elle cesse ensuite de donner passage à de nouvelles quantités de gaz, jusqu'à ce que la pression ait baissé sensiblement, au-dessous de cette limite.

Carburateurs.

Pour que l'alimentation d'un moteur se fasse de telle manière qu'une bonne marche soit assurée, il faut remplir un certain nombre de conditions dont les plus importantes sont les suivantes.

1^o - Il faut que le combustible liquide soit, avant d'arriver dans le moteur, amené à un état de division assez grand pour former avec l'air avec lequel il est mélangé, une sorte de brouillard.

2^o - Il faut que le mélange de l'air et de ces véhicules de combustible liquide soit aussi intime que possible; en d'autres termes, il faut que le mélange gazeux introduit soit aussi homogène que possible.

3^o - Il faut que ce mélange soit fait dans les proportions indiquées pour une réaction chimique complète. Par exemple, si le mélange est formé d'air et d'essence, il faut qu'il contienne, à la pression de l'atmosphère 15 grammes d'air pour un gramme de vapeur d'essence; si il s'agit d'alcool dénaturé, il faut 9 grammes d'air pour 1 gramme d'alcool.

4^o - Enfin, il faut que tant qu'on ne fait pas une régulation agissant sur la composition du mélange d'air et de vapeur combustible, cette composition reste la même, quelle que soit l'allure du moteur; il faut que ce mélange ne soit pas plus riche aux grandes vitesses qu'aux vitesses réduites.

Quand ces conditions sont réalisées, l'explosion a lieu dans le minimum de temps et la partie des gaz non brûlés qui échappent à

l'explosion atteint aussi son minimum.

Les appareils qui ont pour but de réaliser ces conditions sont appelés des carburateurs.

Les carburateurs actuellement employés peuvent se diviser en trois grandes classes :

- 1^{re} - les carburateurs à barbotage ou léchage ;
- 2^{de} - les carburateurs à giclage ou à pulvérisation ;
- 3^e - les carburateurs à distribution mécanique.

Carburateurs
à barbotage
ou à léchage.

Ces carburateurs, presque exclusivement employés autrefois, ne peuvent servir que si le combustible est très volatil comme l'essence de pétrole.

Le principe sur lequel sont constitués les carburateurs à barbotage est le suivant. On force l'air, aspiré par le piston, à traverser une certaine épaisseur de liquide avant de se rendre dans le cylindre. La figure 60, qui représente schématiquement le carburateur Venting,

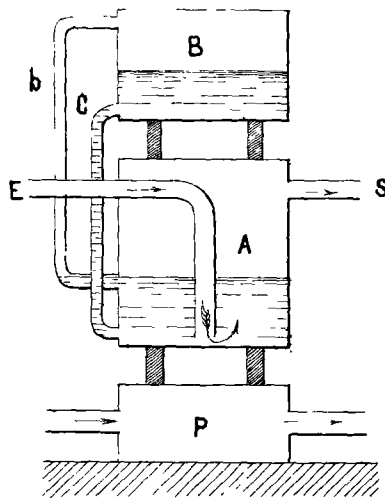


Fig. 60

Schéma d'un carburateur à barbotage. (Venting).

(S. Coupan. Bulletin de la Société des Agriculteurs de France. 15 Février 1902.)

suffit pour en indiquer le fonctionnement.

L'air extérieur, arrivant par le tube recourbé 'E', est obligé de barboter dans le liquide combustible qui garnit le fond du récipient 'A', avant de pouvoir pénétrer dans le cylindre par le tube 'S'. Pour que la carburation soit régulière, il faut que la couche ait une épaisseur constante ; aussi l'arrivée du liquide contenu dans le réservoir 'B' est-elle automatiquement réglée par les deux tubes 'b' et 'c' ; dès que l'orifice inférieur du tube 'b' est immergé, l'écoulement par le tube 'c' se trouve arrêté.

Un autre dispositif très simple consiste dans l'emploi d'un flotteur supportant le tube d'amenée de l'air, tube qui, dans ce cas, n'est pas recouvert; de cette façon, l'épaisseur du liquide que l'air doit traverser est indépendante du volume occupé par ce liquide dans le récipient (Fig. 61). Comme dans tous

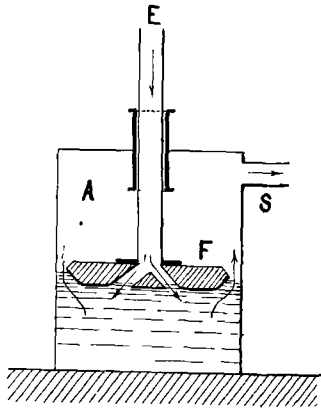


Fig. 61

Carburateur à barboteur Durand.

(S. Coupan. Bulletin de la Société des Agriculteurs de France. 15 Février 1902.)

les cas, l'évaporation du combustible est accompagnée d'un abaissement de température, qui, diminuant la volatilité du liquide, est préjudiciable à la carburation; on combat ce refroidissement soit en entourant le récipient d'une enveloppe où circule l'eau chaude, qui sort de l'enveloppe du cylindre, soit en le mettant en contact ou dans le voisinage d'une pièce P (Fig. 60) réchauffée par les gaz d'échappement.

On peut des carburateurs à barboteur, rapprocher les carburateurs à léchage dans lesquels l'air, sans pénétrer dans le liquide, en léche la surface libre sur une assez grande étendue.

A ce type appartient le carburateur à léchage de Dion, qu'on rencontre encore sur beaucoup de motocycles.

Ce carburateur est construit de la manière suivante. Dans la caisse métallique C, qui sert de réservoir d'essence celle-ci se trouve jusqu'à un certain niveau (Fig. 62). L'air extérieur destiné à être chargé de carbone, entre en F, par une cheminée mobile TT'; elle coulisse dans un manchon et peut être plus ou moins levée. Cette cheminée se termine par une plaque de laiton P, ayant une section semblable à celle de la caisse; cette plaque vient former toit au-dessus de l'essence; l'air se répand sous cette plaque, léche le liquide et remonte le long des parois chargés de vapeurs d'essence. La plaque P devant être maintenue à une distance de 1 centimètre environ au-dessus du liquide, plus on verse

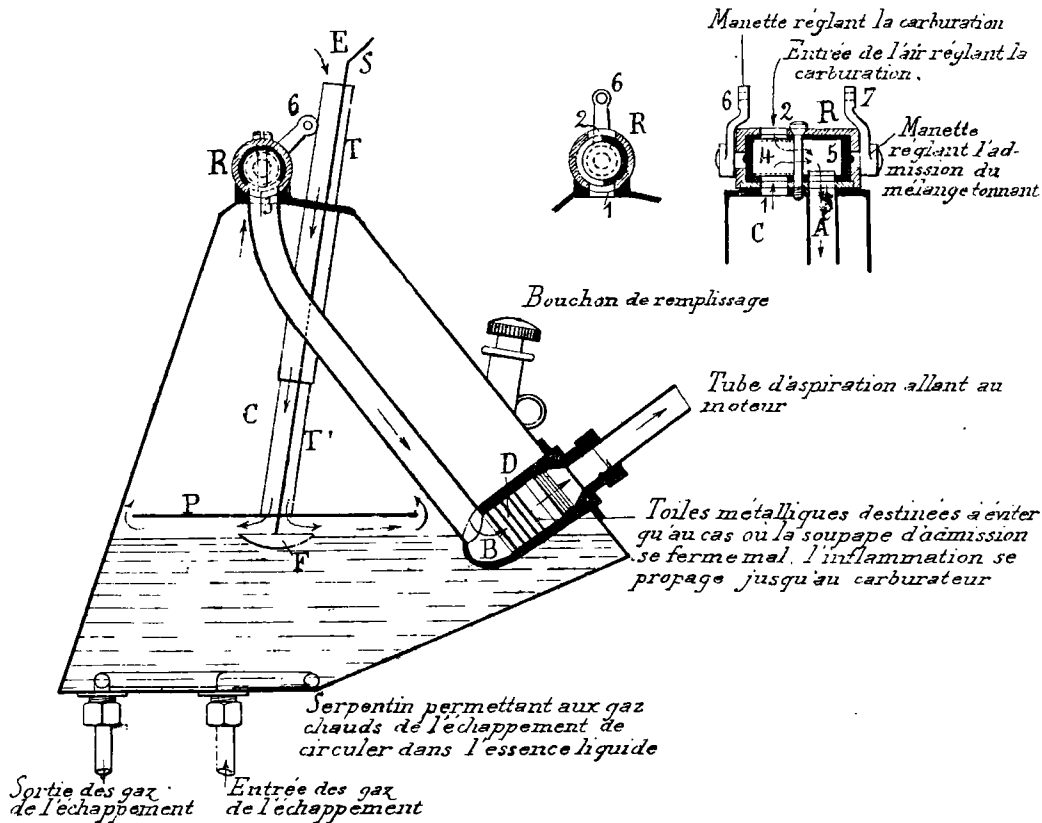


Fig. 62
Carburateur à l'échappement du moteur de bicyclette de Dion.

d'essence, dans le récipient, plus la cheminée mobile doit être tirée au dehors. Un flotteur *F*, porté par une tige qui à dessein nous avons fait dépasser en *S*, indique le niveau du liquide dans le récipient. En réalité le réservoir carburateur est plein lorsque la cheminée étant haussée à son maximum, la tige du flotteur est parvenue à 1 centimètre au-dessous de l'orifice.

A la partie supérieure du carburateur sont fixés deux robinets cylindriques accolés et horizontaux; sur la figure 62, on voit en 6 et 7

les manettes de commande de ces deux robinets, en 4 et 5 les boisseaux, en 2 l'entrée de l'air extérieur, en 1 l'entrée de l'air carburé venant du carburateur, en 3 l'ouverture faisant communiquer le carburateur avec le tuyau A amenant au moteur le mélange tonnant convenable. En regardant la figure 62, on voit qu'en tournant la manette 6 de manière à amener plus ou moins l'une des ouvertures du boisseau 4 en face de l'ouverture 2, communiquant avec l'air extérieur, on fait varier en sens contraire la position relative de l'autre ouverture du boisseau 4 par rapport à l'ouverture 1 communiquant avec le carburateur, c'est à dire que plus on ouvre l'arrivée de l'air extérieur par l'ouverture 2, plus on ferme l'accès par l'ouverture 1 de l'air chargé d'essence. On peut, de cette manière, régler d'une façon convenable le dosage du mélange d'air et de vapeur d'essence.

Le mélange tonnant passe alors dans le second robinet 5 qui, par l'ouverture 3 et le tube A, communique avec l'intérieur du moteur. En tournant plus ou moins la manette 7, on peut admettre dans le cylindre une plus ou moins grande quantité de mélange tonnant.

Les carburateurs à léchage tels que celui que nous venons de décrire sont en réalité, des générateurs de mélange tonnant gazeux envoyant au moteur ce mélange tout préparé et convenablement dosé avant son entrée dans le tuyau d'aspiration; en effet, comme nous l'avons vu en décrivant le carburateur de Dion, le conducteur du tricycle peut, au moyen de la manette 6, arriver à obtenir le mélange convenable d'air et de vapeur d'essence. Un réglage du moteur analogue à celui de la machine à vapeur, c'est à dire par étranglement de l'admission, semble donc indiqué, et en effet ce mode de régulation donne les meilleurs résultats.

Mais le carburateur à léchage ne peut être employé que pour les moteurs dont la puissance ne dépasse pas deux chevaux; au-delà,

ce genre de carburateur doit être abandonné, parce qu'on est obligé de lui donner des proportions colossales pour qu'il demeure capable de fournir des volumes de gaz suffisants.

En outre, la composition du mélange tonnant formé dans le carburateur lui-même, n'est pas invariable; elle est corrélatrice de la volatilité de l'essence qui, indépendamment des différences originelles, se modifie au fur et à mesure de l'évaporation dans le carburateur; elle varie aussi avec la pression, l'état hygrométrique et la température de l'air ambiant aspiré dans le carburateur et enfin avec le degré plus ou moins grand de l'agitation produite par les cahots de la voiture dans le bain liquide.

On voit donc que si l'on veut envoyer dans le moteur un mélange tonnant de composition sensiblement invariable, on est assujéti à un réglage souvent répété de la carburation. Enfin on peut dire que seule une grande habitude permet de produire une carburation convenable et d'approcher pour le mélange gazeux introduit dans le moteur de la composition qui convient à une explosion se produisant dans des conditions qui se rapprochent des conditions théoriques.

Aussi les constructeurs se sont-ils astreints, dans ces dernières années, à réduire au minimum la sujétion du réglage de la carburation et à faire en sorte que le moteur se donne en quelque sorte à lui-même un mélange de composition constante dans les proportions qui conviennent à son allure. Les carburateurs qui tendent à remplir ces conditions sont des carburateurs à distribution mécanique et les carburateurs à giclage que nous allons maintenant étudier.

Carburateurs à distribution mécanique. Dans les carburateurs à distribution mécanique, on assure la fixité de composition du mélange tonnant en injectant, dans l'air aspiré par le piston, une quantité constante de combustible;

cette proportion de carburant, qui est déterminée expérimentalement, ne peut être modifiée que par une manœuvre spéciale dépendant du conducteur de la voiture.

Carburateur Brouhot. La figure 63 montre l'ensemble de cet appareil, composé d'un distributeur mécanique et du carburateur proprement dit, que relie le tube t⁽¹⁾.

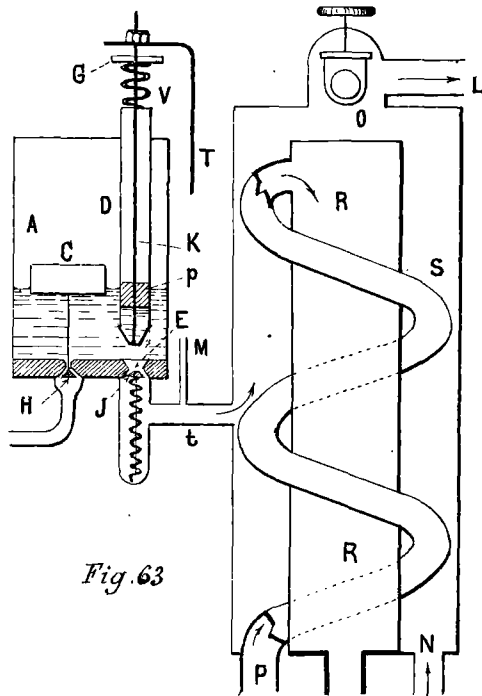


Fig. 63

Carburateur Brouhot

(G. Coupan. Bulletin de la Société des Agriculteurs de France 15 Mars 1902.)

Le distributeur est animé périodiquement, au moment où l'aspiration va se produire, d'un mouvement vertical de haut en bas, sous l'influence du mécanisme général de distribution du moteur et par l'intermédiaire de la tige T. Ce distributeur est formé d'un tube D, plongeant par sa partie inférieure dans le liquide combustible qui garnit le fond du réservoir A; à l'intérieur du tube T est une tige K portant un petit piston p, qui détermine au bas du tube une cavité dont on peut augmenter ou diminuer la capacité en remontant ou en abaissant le piston.

La tige K traverse le piston et son extrémité arrive au niveau du bord inférieur de D; elle est reliée par son autre extrémité à la tige T dont elle suit le mouvement; un ressort à boudin V, s'appuyant sur un

⁽¹⁾ G. Coupan. - Moteurs à explosions et, plus spécialement, moteurs à alcool.

(Bulletin de la Société des Agriculteurs de France. - 34^{ème} année. - 15 Mars 1902. - p. 368).

écran G solidaire de K et sur le bord supérieur du tube D, entraîne ce tube lorsque K monte ou descend sous l'influence de T. Sur la figure 63, le distributeur est représenté au moment où il va entrer en action; la cavité déterminée au bas du tube D par le piston p est remplie de liquide. Lorsque la tige T s'abaisse, au début de l'aspiration, elle entraîne la tige K et, par l'intermédiaire du ressort V, le tube D; celui-ci s'applique bientôt contre le bord de la cuvette E, ménagée dans le fond du réservoir A, et fermée par la soupape à ressort J. A ce moment, le combustible enfermé dans la partie inférieure du tube D est complètement isolé du liquide qui environne ce tube; la tige T continuant son mouvement, K s'abaisse de plus en plus en tendant le ressort V et son extrémité inférieure repousse la soupape J; le combustible contenu dans le tube distributeur s'échappe dans le conduit t pour gagner le carburateur. Lorsque la tige T remonte, la soupape J se ferme, puis le tube D se soulève et une nouvelle charge de combustible pénètre à son intérieur.

Pour obtenir une distribution régulière, il est nécessaire que le niveau du liquide dans le réservoir A reste le même pendant toute la durée du fonctionnement; aussi l'arrivée du combustible dans ce réservoir est-elle réglée par la soupape H, que le flotteur C ferme dès que le niveau nécessaire est atteint.

Le carburant, dosé par le distributeur pénètre dans le carburateur par le conduit t; il se mélange auparavant avec une très grande quantité d'air admise par l'orifice M et qui facilite son évaporation; il tombe sur les spires médianes d'un serpentin S, réchauffé par les gaz de l'échappement, reçoit ensuite une nouvelle quantité d'air aspiré par N et sort enfin par I, où il peut être mélangé d'air froid arrivant par le registre O. Les gaz d'échappement pénètrent par P, remontent le serpentin S et sont expulsés par le manchon R.

Le carburateur peut fonctionner indifféremment avec l'alcool pur, l'alcool carburé ou l'essence; il marche même avec du pétrole lampant, ou de l'huile de schiste; dans ce dernier cas, on chauffe le serpentin en opérant la mise en marche avec un hydrocarbure volatil et, au bout de quelques minutes, on substitue le second carburant au premier.

Carburateur Gobron-Brillié.

Le distributeur Gobron-Brillié (Figures 64 et 65) se compose d'une clé tronconique C, que l'on aperçoit en coupe dans la figure 64 et en projection dans la figure 65, dont la périphérie est garnie d'alvéoles S dont la capacité a été calculée de façon à carburer normalement le volume d'air aspiré par le moteur.

La clé C est entraînée dans un mouvement de rotation autour de son axe par une roue à rochet G et un cliquet relié au mécanisme général de distribution par la tige t (voir les fig. 58, 59 et 64). Le combustible provenant du réservoir R, s'accumule dans une cuvette O qui entoure partiellement la clé. Au moment de l'aspiration, qui a lieu à l'instant où les deux pistons e et f s'éloignent l'un de l'autre dans le cylindre, le cliquet fait tourner la clé de la quantité correspondant à l'écartement des alvéoles et présente l'une de celles-ci

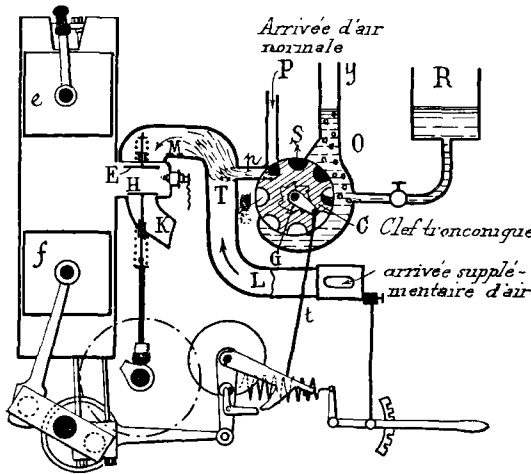


Fig. 64
Vue de l'ensemble du moteur
Gobron-Brillié

(Voir fig. 58, les détails de la régulation).

(E. Brillié. Automobiles et Moteurs. Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie Nationale. 31 Août 1902.)

Légende.

- e, f, pistons qui se meuvent dans le cylindre en s'écartant ou se rapprochant l'un de l'autre;
- H, E, soupapes d'échappement et d'admission;
- S, alvéoles de la clé tronconique C;
- T, tube terminé par une crépine;
- y, conduit par lequel s'échappe l'air contenu dans les alvéoles.

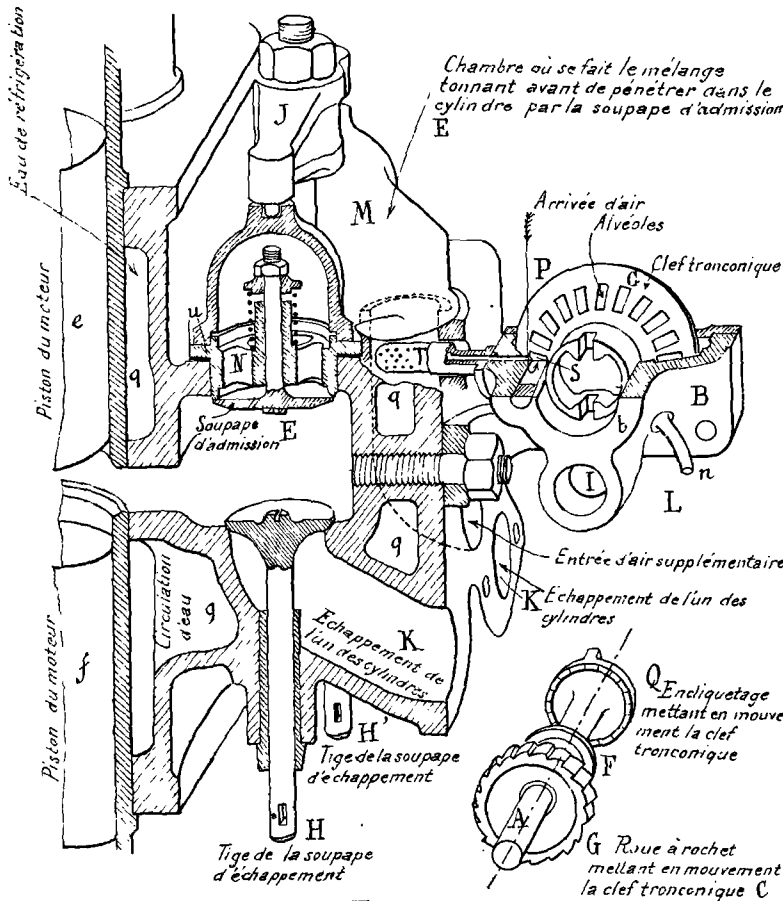


Fig. 65

Coupe perspective du moteur Brillie

(E. Brillie. Automobiles et Moteurs. Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie Nationale. 31 Août 1902)

devant le tube p
branché sur le
conduit d'arrivée
d'air P et terminé
par une crépine T.
L'aspiration qui
s'exerce par M
produit une suction
énergique qui vide
l'alvéole en pulvé-
risant dans le
conduit M le li-
quide contenu
dans cette alvéole;
le mélange se f-
fectue dans l'es-
pace M qui
précède la sou-
pape d'admission.

Comme le fait
remarquer M^r
G. Cayran dans

l'article que nous avons déjà eu l'occasion de citer, il faudrait, pour un
moteur déterminé, autant de clés différentes que de carburants distincts,
puisque la capacité des alvéoles doit être en rapport avec la composition
du liquide volatil; mais pratiquement en calculant les alvéoles à rai-
son de 105 à 110 millimètres cubes par litre d'air aspiré, on obtient une
bonne carburation avec l'essence ou l'alcool carburé à 50%.

Cette ouverture constante d'air P, le carburateur possède une

valve mobile, au moyen d'un levier qui se déplace sur une crémaillère (Fig. 64). En ouvrant plus ou moins cette valve suivant que la vitesse augmente ou diminue, on incorpore plus ou moins d'air à la masse de liquide contenue dans les alvéoles et dont le moteur opère la succion.

Carburateur Vilain.

Dans le carburateur Vilain⁽¹⁾, le distributeur est formé d'une pompe aspirante et foulante, dont la course peut être réglée à volonté, et qui injecte dans le conduit d'aspiration la quantité nécessaire de combustible. La pompe est constituée par un tambour métallique (Fig. 66) dont une des faces B, mince et élastique, est comprimée périodiquement par un poussoir P lié à l'arbre de distribution du moteur et revient à sa position première, sous l'effet d'un ressort intérieur lorsque la compression cesse. Deux tubes H et J aboutissent à ce tambour; H le relie, au réservoir de combustible, J au conduit I d'aspiration. Supprimons le tambour plein de liquide; quand le poussoir agit sur la face B, la soupape K se soulève et une certaine quantité de liquide, proportionnelle au déplacement du poussoir, est injectée et pulvérisée en I; quand le poussoir revient en

arrière, la face B reprend sa position primitive, la soupape I s'ouvre et laisse rentrer une nouvelle quantité de combustible pour remplir à nouveau le tambour. Pour faire varier la course du poussoir, on relie ce dernier à un levier M dont le point fixe O peut être éloigné ou rapproché du tambour; la course de la bielle qui actionne ce levier étant constante, l'action du poussoir P est d'autant plus

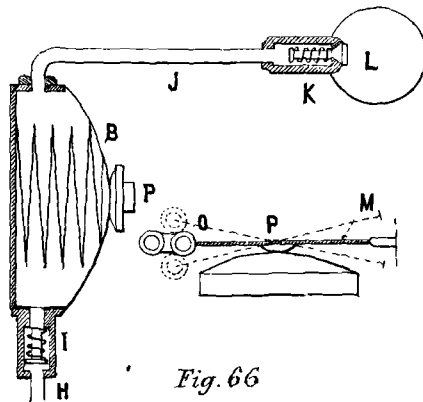


Fig. 66

Carburateur Vilain.

(G. Coupan. Bulletin de la Société des Agriculteurs de France. 15 Mars 1902.)

⁽¹⁾ G. Coupan - loc. cit. p. 371.

Carburateurs
à gicleur.

prolongée, que le point fixe est plus rapproché du tambour.
Les carburateurs qui sont actuellement les plus employés sont les carburateurs à gicleur. Après avoir indiqué en quoi consistent ces carburateurs, nous verrons s'ils remplissent les conditions que nous avons indiquées au commencement de cette étude de la carburation; nous décrivons enfin un carburateur récent qui semble répondre à ces diverses conditions, le carburateur construit par le commandant Krebs, directeur de la maison Lanhard et Levassor.

Carburateur
Longuemare.

Nous prendrons comme type de carburateur dit à gicleur ou à pulvérisation et à niveau constant, le carburateur Longuemare.

Le carburateur Longuemare, représenté dans la figure 67, est composé de deux parties distinctes:

- 1^o — le Niveau constant;
- 2^o — le Carburateur à pulvérisation.

Niveau-constant.

Le Niveau-constant est obtenu au moyen du fonctionnement du flotteur B, du pointeau F et des leviers-bascules G, G'; le tout est enfermé dans une boîte métallique A fermée par un couvercle C.

Le Niveau-constant communique avec le réservoir d'essence par le raccord I.

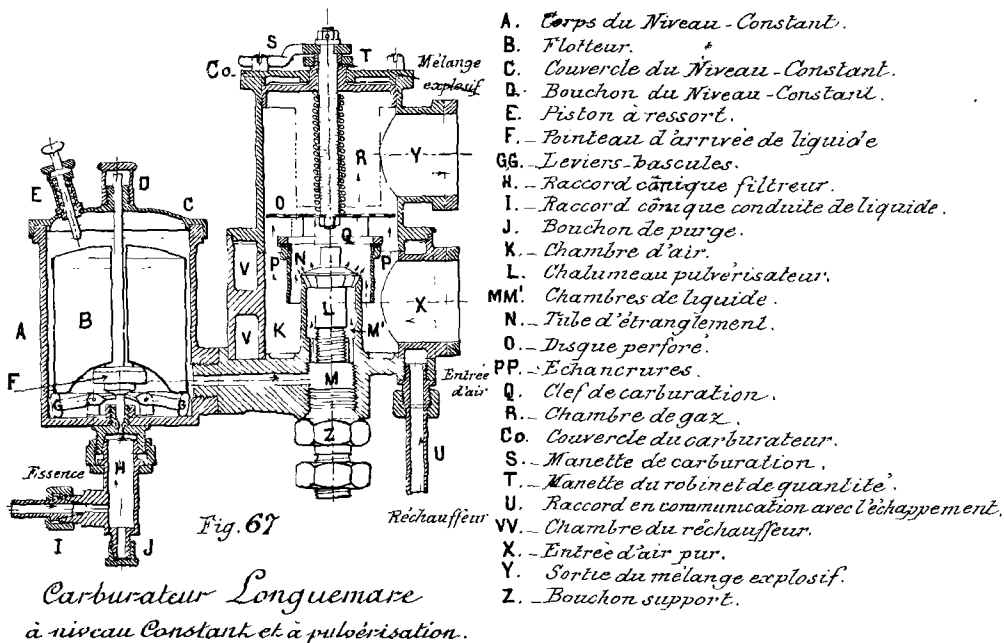
Carburateur
à pulvérisation.

Le Carburateur à pulvérisation se compose d'un chalumeau pulvérisateur L, d'un tube étangleur N, d'une clé de carburation Q, d'un robinet de quantité de gaz et d'un réchauffeur; le tout est contenu dans une boîte métallique fermée par un couvercle C₀.

Le Carburateur est relié au Niveau-constant par une attache vissée et soudée.

Le Carburateur communique avec l'air extérieur par la bride X, et avec le moteur par la bride Y.

L'évaporation de l'essence, absorbant de la chaleur, le carburateur est muni d'un réchauffeur utilisant la haute température des gaz de



- A. Corps du Niveau - Constant.
- B. Flotteur.
- C. Couvercle du Niveau - Constant.
- D. Bouchon du Niveau - Constant.
- E. Piston à ressort.
- F. Pointeau d'arrivée de liquide.
- GG. Leviers-bascules.
- H. Raccord conique filtrant.
- I. Raccord conique conduite de liquide.
- J. Bouchon de purge.
- K. Chambre d'air.
- L. Chalumeau pulvérisateur.
- MM'. Chambres de liquide.
- N. Tube d'étranglement.
- O. Disque perforé.
- PP. Echantures.
- Q. Clef de carburation.
- R. Chambre de gaz.
- Co. Couvercle du carburateur.
- S. Manette de carburation.
- T. Manette du robinet de quantité.
- U. Raccord en communication avec l'échappement.
- VV. Chambre du réchauffeur.
- X. Entrée d'air pur.
- Y. Sortie du mélange explosif.
- Z. Bouchon support.

l'échappement. A cet effet un tube métallique est fixé d'un côté à un des raccords du réchauffeur et de l'autre côté au tube d'échappement. Un robinet est placé sur cette conduite pour admettre une quantité plus ou moins grande de gaz chauds selon la température et le refroidissement produit et de manière à maintenir le corps du carburateur à une température de 15 à 30° cent. Les gaz d'échappement utilisés s'échappent par l'autre raccord.

Le tube qui conduit l'air dans le carburateur doit aboutir contre une partie chaude du moteur : ailettes, tubes d'échappement ou brûleur, toutes les fois que le carburateur est exposé directement dans un courant d'air violent (comme dans les motocycles, voitures légères, etc...) sans être protégé par une enveloppe ou une carrosserie quelconque, comme dans les voitures. Dans ce dernier cas, il est surtout bon de s'attacher à n'aspirer que de l'air pur à l'extérieur de la carrosserie et, autant que possible, à l'abri de la poussière.

Enfin le tuyau qui relie le carburateur au moteur par la bride ou raccord Y peut avoir de 0^m,10 à 0^m,50 de longueur, sans courbes brusques.

Fonctionnement
du carburateur.

Voici comment fonctionne ce carburateur.

Niveau-constant. Le niveau-constant est mis en communication avec le réservoir d'alimentation au moyen du raccord conique I. Le liquide pénètre dans le raccord filtreur H. où les impuretés sont arrêtées par une toile métallique fixée à la partie supérieure et peuvent être ensuite expulsées par le bouchon de purge J.

Le corps du niveau-constant A étant supposé vide, le flotteur B appuie sur l'extrémité de chacun des leviers-bascules G,G qui, oscillant sur leurs pivots, soulèvent la masse F et, en même temps, la tige du pointeau. Un petit orifice se trouve alors découvert et le liquide pénètre alors librement dans le corps A du niveau-constant.

Lorsque le liquide est arrivé en quantité suffisante, le flotteur B est soulevé à son tour et cesse d'appuyer sur les leviers-bascules G,G. La tige du pointeau, agissant par son poids et celui de la masse F, entraîne à ce moment les leviers-bascules G,G et vient fermer hermétiquement l'arrivée du liquide. Celui-ci pénètre ensuite, par un petit canal, dans la chambre M, puis dans la chambre M'.

Le poids du flotteur et l'ensemble de l'appareil sont constitués de telle sorte que le niveau du liquide s'établit dans la chambre M', à quelques millimètres au-dessus de sa partie supérieure. Lorsque, par suite du fonctionnement du moteur, le niveau vient à baisser dans la chambre M', il baisse également dans le corps A; le flotteur suit le mouvement du liquide et vient à nouveau appuyer sur les leviers-bascules, pour rétablir un niveau convenable et ainsi de suite.

Carburateur à pulvérisation - La chambre M est fermée, à sa partie supérieure, par un chalumeau pulvérisateur I, dont la tête de forme tronconique est entaillée par des rainures destinées à laisser le liquide jaillir en jets pulvérisés. Les rainures sont toujours assez fines pour pulvériser le liquide, leur nombre varie suivant la quantité de gaz à fournir.

La clé de carburation Q est maintenue par la pression d'un ressort à boudin, contre un épaulement circulaire ménagé à l'intérieur du corps du carburateur. Le mouvement de rotation, imprimé à la clé Q par la manette S et la tige qui les relie permet de couvrir ou de découvrir à volonté les échancrures PP.

La clé de carburation maintient en même temps le tube d'étranglement N, destiné à augmenter la vitesse du courant d'air autour du chalumeau.

La manette T commande une clé dont la partie pleine peut obstruer plus ou moins l'orifice de sortie Y. La course de chacune des manettes est marquée sur le couvercle C₀ par les lettres O et F.

Pour mettre le moteur en marche, on ferme la manette S marquée AIR (placer cette manette sur la lettre F) et on ouvre en grand la manette T marquée GAZ (placer cette manette sur la lettre O). On imprime au moteur quelques mouvements de rotation en agissant sur les pédales pour les motocycles et sur la manivelle de mise en marche pour les voiturettes et les voitures.

Le déplacement du piston produit derrière lui un vide partiel, qui se fait également sentir dans la chambre R du carburateur par l'intermédiaire de la tuyauterie et de l'orifice Y. L'air arrive alors brusquement par la bride X; cet air ne trouve d'autre issue que l'espace annulaire compris entre le tube d'étranglement N et le chalumeau I. Cet air rencontre le liquide qui, par suite de la dépression produite par l'air qui passe, avec une grande vitesse, entre I et N, jaillit en pluie

par chacune des rainures du chalumeau I. L'air aspiré et la pluie de liquide se mélangent intimement et le brassage est facilité par le passage du mélange au travers des orifices du disque perforé O. La chambre R se trouve alors remplie de gaz explosif qui est conduit au moteur par le raccord ou bride X.

Dès que le moteur est en marche, on cherche le meilleur mélange en agissant sur la manette S.

Pour s'assurer que le liquide pénètre bien dans le corps du niveau-constant, on peut sentir le contact du flotteur, en appuyant légèrement sur la tige du piston, à ressort E.

Pour faciliter la mise en marche du moteur, on peut également appuyer, pendant quelques secondes, sur la tige du même piston E'. Cette manœuvre a pour effet de faire remonter le niveau du liquide dans la chambre M'.

Le carburateur que nous venons de décrire peut servir pour l'essence minérale ou l'alcool carburé.

Carburateur Longuemare
pour alcool pur.

Quand il s'agit d'alcool pur, ce carburateur est légèrement modifié (Fig. 68); l'enveloppe réchauffeur V règne sur toute la longueur du carburateur et les gaz d'échappement sortent à la partie inférieure par des orifices a. Au couvercle ordinaire du carburateur est substitué un couvercle à deux fonds; le couvercle inférieur est garni de grandes ailettes d et il est relié au fond supérieur par des pièces qui forment chicane. La déviation des gaz de l'échappement, arrivant par p, circule tout d'abord entre les deux fonds autour des rainures-chicanes ee; ces gaz échauffent fortement les ailettes d, puis se rendent par e₂ dans l'enveloppe V. Les ailettes d contribuent au brassage du mélange et surtout à son assèchement, point que les constructeurs considèrent comme très important, car en supprimant les gouttelettes liquides, on diminue comme nous le verrons plus loin, l'attaque des soupapes par l'acide acétique

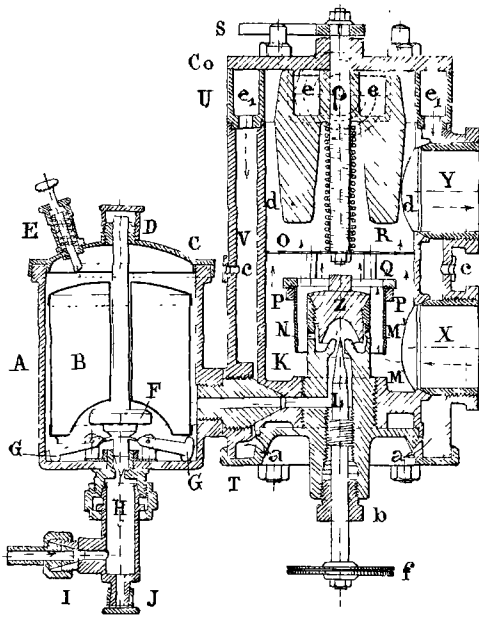


Fig. 68

Carburateur Longuemare.

Type pour alcool pur.

- A. Corps du Niveau-Constant
- B. Flotteur.
- C. — Couvracle du Niveau-Constant
- D. — Bouchon du Niveau-Constant
- E. — Piston à ressort.
- F. Pointeau d'arrivée d'alcool.
- GG. — Leviers-Bascules.
- H. Raccord cône filtrant.
- I. — Raccord cône conduite d'alcool.
- J. — Bouchon de purge.
- K. — Chambre d'air.
- L. Pointeau régulateur d'introduction d'alcool.
- MM. — Chambres d'alcool
- N. — Tube d'étranglement
- O. — Disque perforé.
- PP. — Echantures.
- Q. — Clef de carburation
- R. — Chambre de gaz.
- Co. — Couvracle du carburateur
- S. — Manette de carburation
- T. — Pièce de fond du carburateur
- U. — Réchauffeur à ailettes
- V. — Chambre de réchauffage.
- X. — Entrée d'air pur
- Y. — Sortie du mélange explosif
- Z. — Bouchon de fermeture de la chambre centrale M.
- a. — Ouvertures de chauffage pour la mise en marche, et d'échappement des gaz du réchauffeur.
- b. — Presse-amiante.
- cc. — Evacuation des gaz d'allumage.
- dd. — Ailettes du réchauffeur.
- ee. — Rainures-chicanes du réchauffeur.
- f. — Bouton de manœuvre du pointeau.
- p. — Arrivée des gaz de l'échappement

provenant de l'oxydation de l'alcool. Enfin un pointeau I, permet de régler l'arrivée de l'alcool.

Bien entendu, ce carburateur pour alcool pur peut être utilisé avec l'alcool carburé et l'essence minérale.

Lorsque le carburateur est alimenté par de l'essence ou de l'alcool carburé, la mise en marche du moteur se fait à froid comme d'habitude.

Les orifices CC étant ouverts par la bague circulaire spécialement disposée à cet effet, la manette de réglage S étant placée sur l'indication F (fermé) et la tige du pointeau I ayant été dévissée d'environ 1 tour $\frac{1}{2}$, on imprime au volant du moteur quelques mouvements de rotation.

Dès que les premières explosions ont lieu, on cherche le meilleur point de carburation en déplaçant la manette S que l'on doit amener vers le milieu de sa course, l'allumage se faisant avec peu d'avance.

Si la manette S ne pourrait pas être déplacée de cette quantité sans nuire à la bonne marche du moteur, il suffirait de dévisser un peu le pointeau Is en agissant par la molette f. Si, au contraire, la manette S devait être déplacée davantage vers O (ouvert), il faudrait visser le pointeau Is jusqu'à ce que la manette S puisse être ramenée vers le milieu de la course.

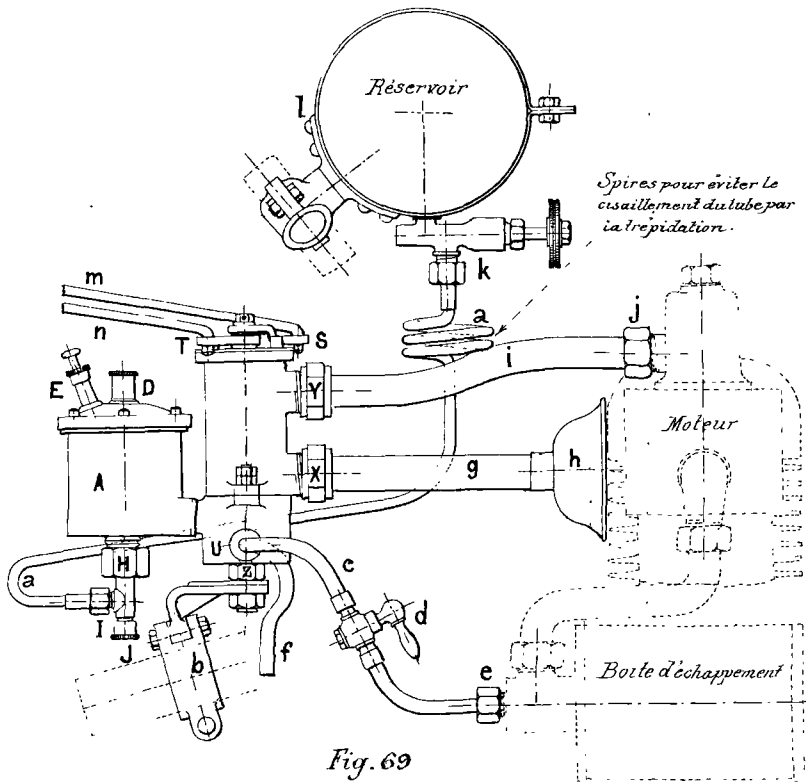
En donnant plus d'avance à l'allumage, il est bon de pousser la manette S vers O jusqu'au point où on juge que le moteur fournit son maximum de rendement.

Emploi d'alcool dénaturé ou alcool pur. Dans ce cas, il est utile de procéder à un chauffage préalable du carburateur. Un tampon d'amiante imbibé d'alcool suffit pour porter le carburateur à une température convenable.

Les orifices CC étant découverts en déplaçant la bague indiquée plus haut, on place le tampon allumé sous la partie inférieure du carburateur; les gaz chauds pénètrent par les trous a a et s'échappent en CC. Le chauffage dure environ deux minutes.

La figure 69 nous montre le spécimen de montage d'un carburateur Longuemare sur un motocycle; la figure 70 représente le spécimen de montage sur un moteur fixe d'un carburateur Longuemare à essence et la figure 71 le montage sur un moteur fixe d'un carburateur Longuemare à alcool.

Fig. 69



- A. — Niveau-Constant du carburateur.
- D. — Bouchon du Niveau-Constant.
- E. — Piston à ressort.
- H. — Raccord cône filtreur.
- I. — Raccord cône conduite d'essence.
- J. — Bouchon de purge.
- S. — Manette de carburation.
- T. — Manette du robinet de quantité.
- U. — Raccord du réchauffeur.
- X. — Entrée d'air pur.
- Y. — Sortie du mélange explosif.
- Z. — Bouchon supporté.
- a. — Tube d'alimentation du carburateur.
- b. — Support du carburateur.
- c. — Tube du réchauffeur.
- d. — Robinet de réglage du réchauffeur.
- e. — Raccord sur la boîte d'échappement.
- f. — Tube de sortie des gaz du réchauffeur.
- g. — Tube d'aspiration d'air.
- h. — Coupelle garnie d'une toile métallique prenant l'air chaud contre les ailettes du moteur.
- i. — Tube de gaz.
- j. — Fierou d'entrée du gaz au moteur.
- k. — Robinet de sortie d'essence.
- l. — Collier d'attache du réservoir sur le cadre.
- m. — Tige de commande de la manette de carburation S.
- n. — Tige de commande de la manette du robinet de quantité T.

Fig. 69

Spécimen de montage d'un Carburateur Longuemare sur un Motocycle.

Discussion des conditions de fonctionnement d'un carburateur à giclage.

Maintenant que nous savons en quoi consiste un carburateur à giclage, une question se pose immédiatement à nous. Un tel carburateur remplit-il les conditions que nous avons indiquées au début comme devant présider à la construction d'un tel appareil?

Il est certain que les deux premières conditions relatives à la pulvérisation du liquide et à son mélange interne avec l'air, sont aussi bien remplies que possible. Mais il ne semble pas qu'il en soit de même des deux autres conditions. La composition du mélange qui convient à la meilleure combustion ne reste pas constante quelle que soit l'allure du moteur. C'est sur ce point que nous allons un peu insister.

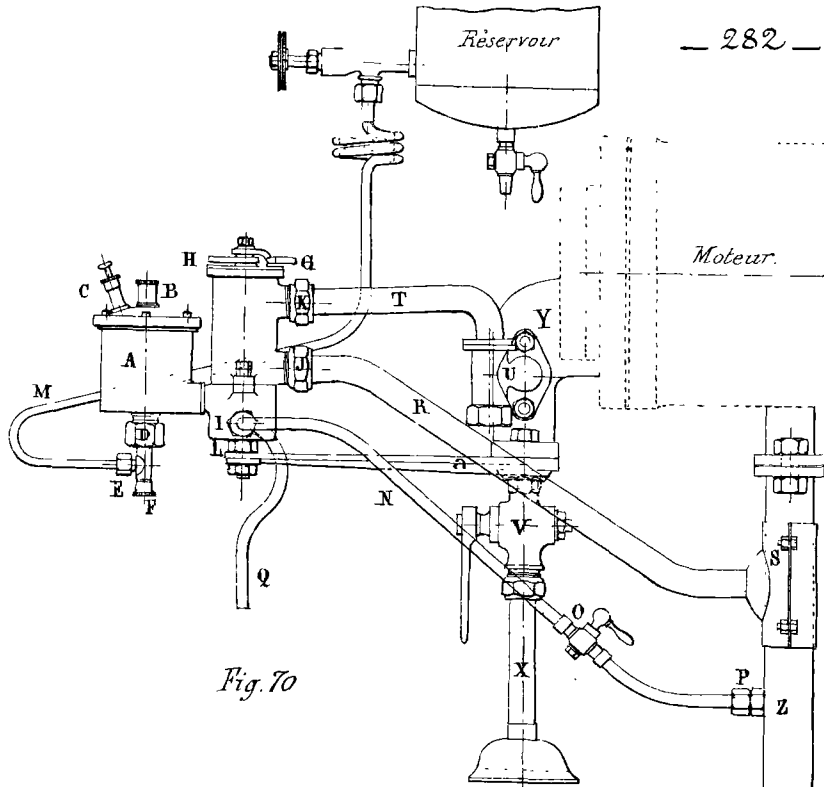


Fig. 70

- A. — Niveau constant du Carburateur.
- B. — Bouchon du Niveau constant.
- C. — Piston à ressort.
- D. — Raccord conique filtreur.
- E. — Raccord conique conduit d'essence.
- F. — Bouchon de purge.
- G. — Manette de Carburatation.
- H. — Manette du robinet de quantité.
- I. — Raccord du réchauffeur.
- J. — Entrée d'air pur réchauffé.
- K. — Sortie de mélange explosif.
- L. — Bouchon support.
- M. — Tube d'alimentation du Carburateur.
- N. — Tube du réchauffeur.
- O. — Robinet de réglage du réchauffeur.
- P. — Raccord sur le tuyau d'échappement.
- Q. — Tube de sortie des gaz du réchauffeur.
- R. — Tube d'aspiration d'air réchauffé.
- S. — Coupelle.
- T. — Tube du mélange explosif.
- U. — Raccord d'entrée de gaz.
- V. — Robinet d'entrée d'air supplémentaire.
- X. — Tube d'entrée d'air supplémentaire.
- Y. — Boîte d'admission du moteur.
- Z. — Tuyau d'échappement du moteur.
- a. — Support du carburateur.

Spécimen de montage d'un Carburateur Longuemare à essence sur un moteur fixe

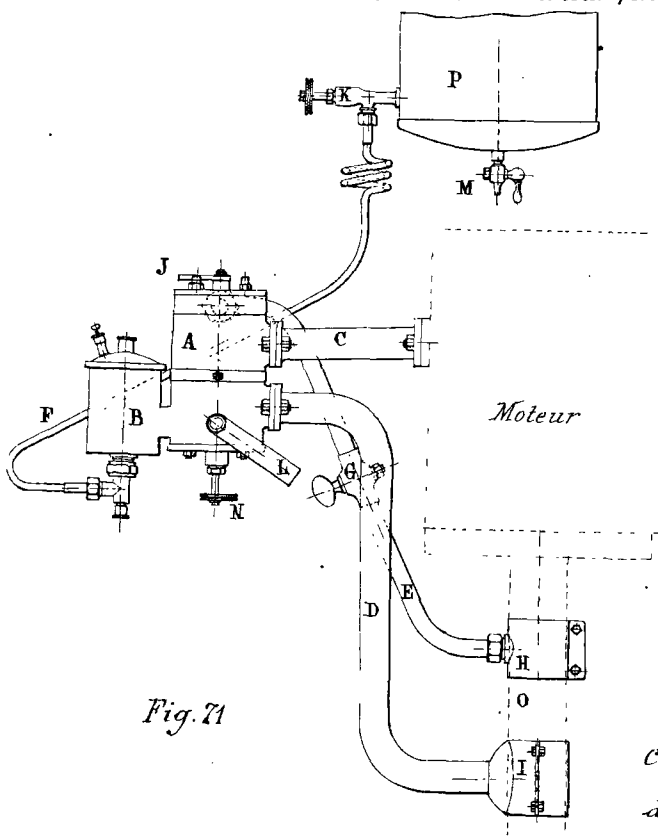


Fig. 71

- A. — Corps du Carburateur.
- B. — Niveau constant du Carburateur.
- C. — Tube du mélange explosif.
- D. — Tube d'aspiration d'air.
- E. — Tube du réchauffeur.
- F. — Tube d'alimentation du Carburateur.
- G. — Robinet de réglage du réchauffeur.
- H. — Raccord sur le tuyau d'échappement.
- I. — Prise d'air chaud sur le tuyau d'échappement.
- J. — Manette de carburatation.
- K. — Robinet de sortie d'alcool.
- L. — Support du Carburateur.
- M. — Robinet de vidange du réservoir.
- N. — Bouton de manœuvre du pointeau.
- O. — Tube d'échappement du moteur.
- P. — Réservoir d'alimentation du Carburateur.

Spécimen de montage d'un carburateur Longuemare à alcool sur un moteur fixe

Dans les carburateurs à pulvérisation, le giclage de l'essence et la rentrée de l'air nécessaire à la combustion de cette essence sont provoqués par la dépression produite dans le carburateur par le mouvement du piston dans le cylindre. Cette dépression varie comme la vitesse de ce mouvement, ou comme le nombre de tours par minute; à une grande vitesse de rotation, correspond une dépression notable dans le carburateur et inversement.

Il semble, au premier abord, que la composition du mélange entrant introduit dans le moteur est indépendante de la grandeur de cette dépression. En effet, si les ouvertures par lesquelles arrivent l'air et l'essence ont une section invariable, il peut paraître exact de dire que, la dépression allant en croissant, la masse d'air et la masse d'essence aspirées augmentent dans une proportion telle, que le rapport de ces deux masses reste le même.

Une telle proposition n'est approchée que si, avant de la mélanger à l'air, l'essence est réduite en vapeur dans un récipient spécial d'où elle sort par un ajutage pour se mélanger à l'air. En effet, désignons par δ_a et par δ_e , les densités ou les masses des unités de volume d'air et de vapeur d'essence, à la température de l'expérience et sous la pression qui règne dans le carburateur;

par S_a et S_e , les sections des orifices par lesquels passent ces gaz;
par v_a et v_e les vitesses d'écoulement de ces deux gaz sous l'action d'une dépression H mesurée par exemple en millimètres d'eau;
les masses de gaz écoulées dans l'unité de temps sont représentées par les expressions :

$$K_a \times S_a \times \delta_a \times v_a$$

$$K_e \times S_e \times \delta_e \times v_e$$

en désignant par K_a et K_e des coefficients qui dépendent des formes des orifices au travers desquels s'écoulent les gaz considérés et auxquels on

a donné le nom de coefficients de contraction de la veine gazeuse. (1)

La composition du mélange introduit dans le moteur est donc représentée par le rapport :

$$\frac{K_a S_a \delta_a}{K_e S_e \delta_e} \times \frac{v_a}{v_e}$$

rapport qui doit garder une valeur constante, quelle que soit l'allure du moteur, c'est à dire quelle que soit la dépression. Or la vitesse d'écoulement d'un fluide est une fonction de la densité de ce fluide et de la différence de pression sous laquelle s'effectue l'écoulement, fonction dont la forme varie avec la nature du fluide et avec son mode d'écoulement. (2) Si l'on

(1) Le coefficient de contraction de la veine gazeuse est en moyenne :

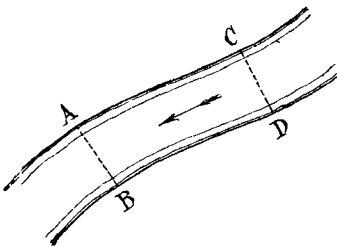
- 0,61 pour un orifice creusé en mince paroi ;
- 0,84 à la sortie d'un ajutage cylindrique ;
- 0,96 à la sortie d'un ajutage légèrement conique.

Si d'autre part, nous désignons par P la pression de l'atmosphère exprimée en millimètres d'eau, δ_a et δ_e sont les masses de l'unité de volume d'air et de vapeur d'essence sous la pression P-H, de telle sorte que si on désigne par Δ_a et Δ_e les densités de l'air et de la vapeur d'essence sous la pression atmosphérique P à l'extérieur du carburateur, on a :

$$\delta_a = \Delta_a \cdot \frac{P-H}{P} \qquad \delta_e = \Delta_e \cdot \frac{P-H}{P}$$

(2) Considérons un fluide en mouvement dans un canal et faisons sur ce mouvement les hypothèses suivantes :

- 1^o - Le régime permanent est établi (les variables qui définissent l'état du fluide sont indépendantes du temps) ;
- 2^o - L'écoulement se fait par tranches (la vitesse d'écoulement a la même grandeur en tous les points d'une même section normale ; elle est perpendiculaire en chaque point à cette section)
- 3^o - Le frottement du fluide contre les parois est nul.



À un instant donné, considérons une masse ABCD, de ce fluide ; Soient q_0 et q_1 les vitesses du fluide en AB et en CD ; p_0 et v_0 la pression et le volume spécifique en AB ; p_1 et v_1 les valeurs de ces mêmes quantités en CD ; U_0 et U_1 , les énergies internes de l'unité de masse du fluide en AB et en CD ; on a, en désignant par $\frac{dQ}{dm}$ la quantité de chaleur dégagée par l'unité de masse de ce système pendant le temps dt :

admet que pour les deux gaz étudiés, dont les propriétés sont voisines, l'écartement

(Suite de courri de la page précédente).

$$E \frac{dQ}{dm} = E(U_0 - U_1) + g(z_0 - z_1) + (p_0 v_0 - p_1 v_1) + \frac{1}{2} (v_0^2 - v_1^2)$$

g , intensité de la pesanteur; z_0 , distance verticale à un plan horizontal du centre de gravité de la section AB, z_1 id. id. id. id. CD.

Si le fluide est incompressible, $\frac{dQ}{dm} = U_0 - U_1$ (Voir Lincard. Thermodynamique. p. 160).

et l'on a la formule donnée par Daniel Bernoulli en 1738:

$$v_1^2 - v_0^2 = 2g(z_0 - z_1) + 2v(p_0 - p_1).$$

Si $v_0 = 0$ [AB représente la surface libre maintenue constante d'un liquide].

$$(a) \quad v_1 = \sqrt{2g(z_0 - z_1) + 2v(p_0 - p_1)} = \sqrt{2[g(z_0 - z_1) + \frac{p_0 - p_1}{\delta}]} \quad \begin{matrix} v, \text{ volume spécifique,} \\ \delta, \text{ densité du fluide.} \end{matrix}$$

Si le fluide est un gaz parfait dont l'écoulement est isotherme, on a:

$$\frac{dQ}{dm} = \frac{1}{E} RT \log. \text{ nép. } \frac{v_1}{v_0} \quad \left\{ \begin{array}{l} R, \text{ Constante de l'équation des gaz parfaits} \\ (pv = RT); \\ T, \text{ Température absolue.} \end{array} \right.$$

$$U_1 = U_0 \quad (\text{propriété fondamentale des gaz parfaits}); \quad p_0 v_0 - p_1 v_1 = 0 \quad (\text{Loi de Mariotte})$$

et par suite:

$$RT \log. \text{ nép. } \frac{v_1}{v_0} = g(z_0 - z_1) + \frac{1}{2} (v_0^2 - v_1^2) \quad \text{ou, en négligeant le poids de la colonne gazeuse de hauteur } (z_0 - z_1),$$

Écoulement isotherme d'une masse gazeuse.

$$(b) \quad v_1 = \sqrt{2RT \log. \text{ nép. } \frac{v_1}{v_0}} = \sqrt{2RT \log. \text{ nép. } \frac{p_0}{p_1}}$$

Supposons que la formule (b) soit applicable au cas étudié de l'aspiration par un moteur d'air et de vapeur d'essence (c'est là une hypothèse qui est bien peu vraisemblable, les deux fluides étant le siège de mouvements tourbillonnaires), nous avons:

$$v_a = \sqrt{2R_a \times T \times \log. \text{ nép. } \frac{P}{P-H}} \quad v_e = \sqrt{2R_e \times T \times \log. \text{ nép. } \frac{P}{P-H}} \quad \left\{ \begin{array}{l} R_a \text{ et } R_e \text{ étant des constants qui dépendent des densités des deux gaz.} \end{array} \right.$$

et la composition du mélange aspiré est donnée par la formule:

$$\frac{K_a S_a \delta_a \sqrt{R_a}}{K_e S_e \delta_e \sqrt{R_e}} \quad \text{cette composition est indépendante de la dépression } H$$

Si, de plus, on admet que la vitesse de glissement de l'essence liquide est donnée par l'équation (a) dans laquelle $z_0 - z_1 = 0$.

(Hypothèse encore plus invraisemblable que la précédente), on a, pour la composition du mélange d'air et d'essence liquide,

$$\frac{K_a S_a \delta_a \sqrt{2R_a \times T \times \log. \text{ nép. } \frac{P}{P-H}}}{K_e S_e D_e \sqrt{2g \frac{H}{D_e}}} \quad \begin{matrix} D_e, \text{ densité de l'essence liquide} \\ \text{dans les conditions de} \\ \text{l'expérience.} \end{matrix}$$

On voit que la composition de ce mélange dépend de la dépression H . Mais on ne saurait trop faire remarquer que les hypothèses sur lesquelles sont fondés ces calculs ne sont certainement pas permises.

se produit de la même manière, on peut considérer les vitesses d'écoulement v_a et v_e comme des fonctions de la densité et de la dépression H présentant la même forme. Si, de plus, on fait l'hypothèse que l'on peut écrire :

$$v_a = f(\delta_a) \times F(H)$$

$$v_e = f(\delta_e) \times F(H)$$

on voit que l'on a pour le rapport $\frac{v_a}{v_e}$,

$$\frac{v_a}{v_e} = \frac{f(\delta_a)}{f(\delta_e)}$$

et, pour la composition du mélange introduit dans le moteur,

$$\frac{K_a S_a \delta_a f(\delta_a)}{K_e S_e \delta_e f(\delta_e)}$$

Pour des ajutages d'écoulement de formes déterminées, ce rapport est indépendant de la dépression H et par suite de la vitesse de rotation du moteur.

Ainsi, moyennant les hypothèses que nous venons de faire, nous pouvons dire que si, sous l'action de la même dépression, de l'air et de la vapeur d'essence contenus dans des récipients séparés se mélangent avant d'entrer dans un moteur, qu'ils alimentent et dont l'aspiration produit la dépression considérée, la composition du mélange ainsi formé est indépendante de la grandeur de la dépression H ou de la vitesse de rotation du moteur. Les carburateurs à téchage se trouvent remplis d'une manière approchée les conditions précédentes.

Mais il n'est plus possible de faire les hypothèses précédentes, quand il s'agit d'un gaz comme l'air et d'un liquide, comme l'essence. On ne peut supposer que, l'écoulement se faisant de la même manière pour les deux fluides, les vitesses d'écoulement dépendent de la même manière, de la dépression H . Donc, dans le cas d'un carburateur à pulvérisation, la composition du mélange des 2 fluides (air et essence) qui s'écoulent par les deux orifices de sections S_a et S_e ,

dépend essentiellement de la dépression H et par suite de la vitesse de rotation du moteur. (4)

(1) Dans la note, qu'il a présentée à l'Académie des Sciences (Novembre 1902) sur le principe de son carburateur, M^e le Com-mandant Krebs écrit, pour la vitesse d'écoulement de l'air et pour la vitesse d'écoulement de l'essence hors de l'ajutage du gicleur, les formules:

$$v_a = \sqrt{2gH \frac{D}{\delta_a}} \qquad v_e = \sqrt{2g \frac{D}{D_e} (H-h)}$$

dans laquelle il est une correction introduite par la nécessité de tenir compte de l'effet de capillarité qui retient le liquide contre le tuyau de l'ajutage. La composition du mélange formé dans le carburateur est donnée par la formule:

$$\frac{K_a}{K_e} \times \frac{S_a}{S_e} \times \frac{\delta_a}{D_e} \times \frac{\sqrt{2gH \frac{D}{\delta_a}}}{\sqrt{2g(H-h) \frac{D}{D_e}}} = C$$

formule de laquelle on déduit:

$$S_a = S_e C \sqrt{\frac{D_e}{\delta_a}} \sqrt{\frac{H-h}{h}} \times \frac{K_e}{K_a}$$

M^e Krebs admet que lorsque le moteur tourne à sa plus faible vitesse, le rapport $\frac{K_e}{K_a}$ est égal à 1 et qu'alors la section de l'orifice d'entrée de l'air, que l'on doit faire correspondre à la section S_e pour avoir un mélange de composition représentée par C , est

$$\sigma_a = S_e C \sqrt{\frac{D_e}{\delta_a}} \sqrt{\frac{H_m-h}{h}} \qquad H_m \text{ étant la dépression correspondant à la vitesse minimum du moteur.}$$

À mesure que la vitesse de rotation du moteur augmente, la section de l'orifice d'entrée de l'air doit aller en augmentant (la section S_e restant constante); l'expérience montre que lorsque le moteur tourne à sa vitesse maxima, cette section S_a de l'orifice d'entrée de l'air est égale à environ $\frac{3}{2} \sigma_a$ ou à $\frac{\pi}{2} \times \sigma_a$. On doit donc écrire:

$$S_a = \sigma_a \left[\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{\varphi(H)} \right]$$

$\varphi(H)$ étant une fonction de H croissant indéfiniment avec H et α étant une constante telle que

$$1 = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{\varphi(H_m)}$$

Comme la vitesse d'écoulement de l'air à travers l'ajutage de section S_a est proportionnelle à \sqrt{H} , M^e Krebs prend $\varphi(H) = \sqrt{H}$ et donne, pour calculer la grandeur de la section de l'orifice d'entrée de l'air, qui convient à une valeur H de la dépression, c'est à dire à une allure déterminée du moteur, la formule:

$$S_a = S_e C \sqrt{\frac{D_e}{\delta_a}} \sqrt{\frac{H-h}{h}} \left[\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{\sqrt{H}} \right].$$

En effet, l'expérience montre que, laissant constantes les sections S_1 et S_2 , on augmente la vitesse de rotation du moteur, le mélange introduit dans le moteur devient de plus en plus riche en corps combustible. Si, pour une vitesse donnée, la composition du mélange est celle qui convient à une combustion complète, cette composition varie lorsque la vitesse s'accroît dans un sens tel que la proportion du corps combustible va en augmentant. Non seulement il se produit une combustion incomplète et une partie du combustible est rejetée à l'extérieur sans avoir produit de travail, mais encore l'excès même de ce combustible a pour effet de rendre le mélange moins explosible, de diminuer la pression produite par l'explosion.

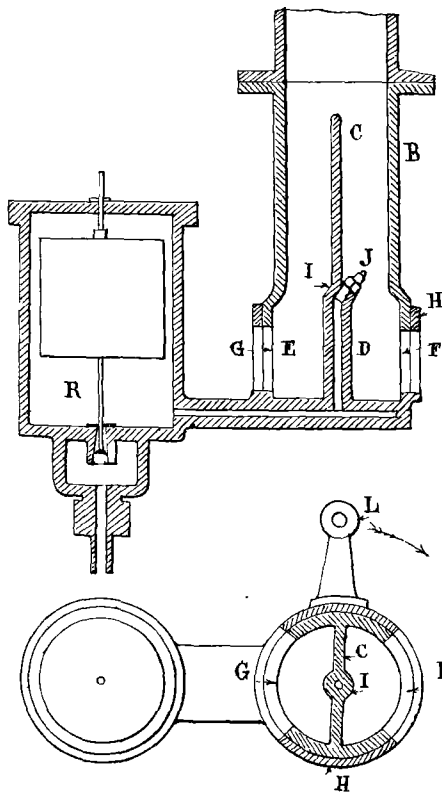
Au contraire, si la vitesse diminue, le mélange formé dans le carburateur devient de moins en moins riche en corps combustible; en même temps, l'état dans lequel se trouve le mélange est tel que l'onde explosive s'y propage de plus en plus difficilement; il en résulte des combustions incomplètes ou même des ratés.

Ce sont ces variations dans la composition du mélange introduit dans le moteur qui expliquent la difficulté que l'on a quelquefois à faire démarrer une voiture. Supposons en effet une voiture prête à démarrer; le moteur débrayé est maintenu à son régime normal par son régulateur; il tourne par exemple à 700 tours. Le conducteur vient à embrayer; le moteur en charge tombe à 300 tours; il arrive non plus le mélange tonnant qui correspond à une bonne explosion et à une combustion complète, mais un mélange pauvre en essence; la pression due à l'explosion baisse rapidement, des ratés se produisent, la vitesse de rotation diminue et le moteur se cale. Si l'on veut démarrer avec certitude, il convient d'embrayer légèrement, puis aussitôt de débrayer pour laisser le moteur reprendre de la vitesse, c'est à dire absorber de nouveau du mélange tonnant convenable, enfin de répéter cette série d'opérations un certain nombre de fois - jusqu'à ce qu'on ait pu

obtenir le démarrage.

Pour conserver une composition constante au mélange introduit dans le moteur quelle que soit l'allure de celui-ci, les constructeurs ont disposé des orifices supplémentaires d'arrivée d'air que le conducteur régit à la main ou que le moteur lui-même commande. Ce sont les échancrures désignées par les lettres PP dans les figures 67 et 68 représentant le carburateur Longuemare; Georges Richard et Mars emploient un dispositif automatique mis en mouvement par le moteur.⁽¹⁾ Mais toutes ces solutions, si ingénieuses soient-elles, sont approximatives. Le mélange introduit dans le moteur

① Carburateur Mars. (figure ci-dessous) — Un niveau constant R fournit de l'essence à un mélangeur cylindrique B. Le mélangeur est séparé en deux par une cloison verticale C qui le divise en 2 chambres E et D portant 2 fenêtres distinctes G et F.



- R. — Niveau Constant.
- B. — Mélangeur.
- C. — Cloison verticale.
- E, D. — Chambres.
- G, F. — Fenêtres.
- H. — Obturateur cylindrique mis en mouvement par le régulateur.
- J. — Gicleur.
- L. — Point d'attache de la commande de l'obturateur H par le régulateur.

Les fenêtres sont ouvertes ou fermées simultanément par un seul obturateur cylindrique extérieur H mis en mouvement par le régulateur. La chambre D seule reçoit de l'essence par le gicleur J.

Au moment de l'aspiration, l'air entre par F, se carbure et va se mélanger au-delà de la cloison C à l'air pur fourni par G. Si les ouvertures F et G sont couvrales, le mélange sera bien dosé. Mais si le moteur ralentit, la dépression diminue. A ce moment le régulateur agit sur le levier L pour faire tourner l'obturateur H en fermant à la fois les 2 fenêtres F et G. Le profil de ces fenêtres a été calculé de telle façon que dans chaque position de l'obturateur, correspondant à une certaine vitesse du moteur, les quantités

Coupes du carburateur Mars.

(Les Petites Annales illustrées du Cycle et de l'Automobile. N° 296. 28 Février 1903)

d'air entrant de part et d'autre donne avec l'essence un mélange de composition couvrable.

a-t-il réellement la composition qui convient, à la combustion complète ou aux meilleures conditions de l'explosion? C'est ce que ces dispositifs ne permettent pas d'affirmer.

Sur l'initiative du commandant Krebs, la maison Panhard et Levassor vient de construire un carburateur à réglage automatique qui permet d'introduire dans un moteur marchant à une allure quelconque un mélange tonnant, dont la composition constante est celle qui répond aux meilleures conditions d'utilisation.

Considérons un moteur tournant à sa vitesse minima et supposons que nous ayons déterminé, par une théorie approchée et par l'expérience, quel est le rapport des sections $\frac{S_a}{S_e}$ des orifices d'entrée de l'air et de l'essence qui, avec ce nombre de tours, c'est à dire avec la dépression produite, convient à la composition du mélange correspondant aux meilleures conditions de l'explosion.⁽¹⁾

Laissons constante la section de l'ouverture S_e d'arrivée de l'essence et augmentons la vitesse de rotation de la machine. La dépression dans le carburateur croissant avec cette vitesse de rotation, il est nécessaire pour conserver au mélange formé dans le carburateur une composition constante, de faire croître la section S_a de l'arrivée de l'air suivant une loi bien déterminée. Si on désigne par σ_a la section constante d'arrivée d'air qui correspond à la vitesse minima de rotation de la machine et par σ_a' une section dont la grandeur est variable avec le régime du moteur,

(1) D'après M^e Krebs (voir note ci-dessus) cette section est celle que nous avons appelée σ_a et qui est telle que l'on a :

$$\sigma_a = S_e C \sqrt{\frac{D_e}{\delta_a}} \sqrt{\frac{H_m - h}{h}}$$

Cette formule permet de déterminer la correction h ; il suffit de faire tourner le moteur à sa vitesse minima et de mesurer H_m au moyen d'un manomètre à colonne d'eau communiquant avec la chambre d'aspiration. L'expérience a donné $h = 21$ mm d'eau pour $H_m = 36$ mm d'eau; c'est cette valeur de h que l'on suppose constante et que l'on introduit dans la suite des équations.

on peut écrire que la section totale S_a d'arrivée d'air est la somme des deux sections σ_a et σ_a' .

$$S_a = \sigma_a + \sigma_a' \quad (1)$$

La section σ_a' part de zéro et va en croissant à mesure que la vitesse de rotation augmente. La loi de cette variation a été déterminée par M^{le} le Commandant Krebs, au moyen d'une théorie approchée corrigée par des essais convenables; il est parvenu à trouver pour l'orifice supplémentaire d'arrivée d'air la forme représentée par la figure 72.

Imaginons qu'un tiroir, recouvrant d'abord complètement l'orifice représenté par la figure 72, se meuve dans le sens de la flèche f . L'un des bords extérieurs de ce tiroir, coïncidant d'abord avec $a_1 b_1$, vient peu à peu prendre les positions $a_2 b_2, a_3 b_3, a_4 b_4, \dots, a' b'$. Ce bord extérieur étant

(1) La quantité S_a est une fonction de la dépression H . On peut donc écrire:

$$S_a = f(H) = f[H_m + (H - H_m)]$$

ou en développant par la formule de Taylor et négligeant les puissances de $(H - H_m)$ supérieures à la première :

$$S_a = f(H_m) + (H - H_m) \left[\frac{df(H)}{dH} \right]_{H=H_m} = \sigma_a + (H - H_m) \left[\frac{df(H)}{dH} \right]_{H=H_m}$$

M^{le} Krebs écrit :

$$\sigma_a' = (H - H_m) \frac{dS_a(H)}{dH}$$

il construit dans le plan $S_a OH$ la courbe des valeurs que prend $\frac{dS_a(H)}{dH}$ quand H varie à partir de H_m . En adoptant les hypothèses énoncées plus haut :

$$S_a'(H) = \frac{dS_a(H)}{dH} = \frac{S_e C \sqrt{\frac{D_e}{a}}}{2H\sqrt{H-h}} \left[\frac{\frac{h}{2}}{\sqrt{H}} - \frac{\alpha(2h-H)}{H} \right]$$

L'aire σ_a' est dès lors l'aire comprise entre cette courbe $S_a'(H)$, l'ordonnée H_m , l'axe OH et une ordonnée H .

Nous avons énoncé les nombreuses hypothèses sur lesquelles est fondée la théorie du carburateur de M^{le} Krebs; il est permis de penser que la grande habileté des expérimentateurs a fait plus que cette théorie pour parvenir à trouver les formes convenables de la section de l'orifice invariable de rentrée de l'air et de celle de l'orifice variable d'air additionnel.

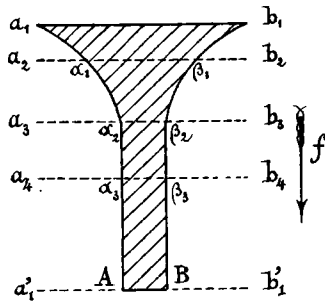


Fig. 72
Forme de l'orifice variable.

en $a_2 b_2$, le tiroir découvre une ouverture dont la section est $a_1 b_1 \alpha_1 \beta_1$; dans la position $a_3 b_3$, l'ouverture découverte est $a_1 b_1 \alpha_2 \beta_2$; dans la position $a_4 b_4$, l'ouverture découverte est $a_1 b_1 \alpha_3 \beta_3$,
Les ouvertures $a_1 b_1 \alpha_1 \beta_1$, $a_1 b_1 \alpha_2 \beta_2$, $a_1 b_1 \alpha_3 \beta_3$, sont les valeurs successives que doit prendre σ_a' pour que le mélange formé dans le carburateur et introduit dans le moteur ait la composition constante qui convient à la combustion

complète.

Celle est l'idée fondamentale du carburateur Krebs.

Dispositif de commande automatique du tiroir qui découvre des orifices supplémentaires de plus en plus grands.

Il s'agit maintenant de savoir quel est le dispositif mécanique qui permet de commander automatiquement le tiroir qui découvre des orifices supplémentaires de plus en plus grands à mesure que la vitesse de rotation du moteur va en augmentant.

Jusqu'ici la plupart des constructeurs chargent le régulateur de faire lui-même à chaque instant l'addition d'air supplémentaire. Mais, comme le fait bien remarquer M^e Pauléry de Saunier, ce mode de commande ne répond pas au but que l'on se propose.

En effet, supposons que le régulateur soit chargé à la fois d'obstruer ou d'ouvrir la tuyauterie d'aspiration et d'obstruer ou d'ouvrir la fenêtre d'air additionnelle; il conduit alors une seule et même tige qui guide 2 tiroirs cylindriques, par exemple. Or ces deux fonctions, rendues ainsi solidaires, ne sont pas toujours correspondantes: elles peuvent même être inverses l'une de l'autre; dans ce cas, le régulateur ouvre en grand l'arrivée additionnelle d'air alors que les conditions de la marche et d'une bonne carburation exigeraient que cet orifice restât entièrement clos.

Plus mieux faire comprendre cette opposition entre les deux

fonctions du régulateur, prenons l'exemple suivant cité par M. Baudry de Saunier dans son remarquable article sur le carburateur Kebs.⁽¹⁾

Considérons un moteur qui dépasse sa vitesse de régime; le régulateur fonctionne et en obturant l'admission, ramène le moteur à sa vitesse primitive. En même temps le régulateur fait mouvoir le tiroir qui ouvre plus ou moins l'orifice d'entrée de l'air.

Or l'orifice additionnel d'entrée de l'air et la vanne d'admission doivent être ouverts d'autant plus que la vitesse de rotation est plus grande et inversement; les deux organes mus par le régulateur doivent donc toujours fonctionner dans le même sens. C'est cette disposition inévitable qui rend defectueuse l'idée du réglage de la carburation par le régulateur.

En effet, embrayons la voiture sur le moteur. Celui-ci, au lieu de faire ses 800 tours normaux, n'en fait plus que 400. Le régulateur laisse l'aspiration ouverte à son maximum, mais il laisse en même temps ouverte en grand la fenêtre d'air additionnel. La dépression étant faible, il en est de même du giclage de l'essence; l'air entre en trop grande quantité, le mélange introduit dans le moteur est trop pauvre; des ratés se produisent, le moteur perd de sa puissance et souvent se cale.

Aussi, les propriétaires de moteurs dans lesquels les boules opèrent à la fois la régulation et la carburation, usent-ils toujours d'expédients pour mettre en route leur moteur et leur voiture. Pour lancer le moteur, ils ferment presque complètement l'aspiration, ils aspirent alors lentement dans le cylindre dont le piston est mu à la main, un mélange ^{riche} qui, à cause de cette lenteur, remplit tout de même le cylindre. Pour démarrer la voiture, ils ont soin d'emballer

⁽¹⁾ L. Baudry de Saunier. - Le Carburateur à réglage automatique Panhard et Levassor (Locomotion. 2^e année. N° 65 p. 817).

le moteur à vide avant d'embrayer, afin que l'effort de démarrage ne le fasse pas tomber au-dessous du nombre de tours où la pleine ouverture d'entrée d'air additionnel est normale.

Il n'est donc pas bon de confier au régulateur la double fonction de commander à la fois la régulation et la carburation. Il est préférable de séparer ces deux fonctions et de confier le réglage de la carburation à la dépression même produite dans le carburateur par le mouvement du piston dans le cylindre.

Si la vitesse de rotation du moteur est grande, il en est de même de la dépression qui produit alors une grande ouverture de l'orifice d'air additionnel. Inversement, une faible vitesse de rotation donnant une faible dépression, correspond à une ouverture nulle ou très petite de l'orifice d'air additionnel. Si le moteur tend à dépasser une vitesse de régime, le régulateur obture l'admission, diminue la dépression dans le carburateur et celle-ci, à son tour, réduit l'ouverture de l'orifice d'entrée d'air additionnel. Enfin au démarrage, le moteur tournant lentement, le régulateur laisse ouvert en grand l'orifice d'aspiration; mais la dépression étant très petite à vitesse aussi faible, l'orifice d'air additionnel demeure clos et une rentrée d'air par cet orifice ne vient pas troubler la carburation et introduire dans le moteur un mélange trop pauvre.

On voit, qu'en faisant commander l'ouverture d'air additionnel par la dépression, on est conduit dans tous les cas à introduire dans le moteur un mélange de composition constante, quelle que soit l'allure de ce moteur. C'est le principe de la commande qui a été appliquée dans le nouveau carburateur Krebs.

Description du carburateur Krebs, réalisé dans la pratique.

Nous allons voir maintenant comment cette idée a été

La figure 73 représente une coupe du carburateur. Il est le

gicleur par où arrive l'essence, qui se mélange à l'air entrant par l'ajutage A ; la section de cet ajutage est celle qui convient à la plus petite vitesse du moteur 200 tours par minute, c'est l'orifice d'ouverture invariable de l'arrivée de l'air.

Les deux organes qui permettent de modifier d'une part la quantité de mélange introduite dans le cylindre et d'autre part de régler la carburation sont deux tiroirs cylindriques, deux pistons sans fond, semblables à de larges anneaux plats qui obturent ou dégagent les orifices devant lesquels leurs tiges les font se déplacer.

Le premier tiroir horizontal F (Fig. 73 et 74) est commandé par le régulateur à boules. Il porte sur l'un de ses bords des entailles en forme de V afin que lorsque il découvre le tuyau d'aspiration, l'entrée du gaz aspiré ne s'y fasse que progressivement. La régulation automatique se fait par tout ou rien, le conducteur ayant d'ailleurs la faculté d'agir sur elle au moyen d'un retardateur ou d'un accélérateur, comme nous l'avons déjà dit.

Ce premier tiroir est donc uniquement un robinet, actionné normalement par le régulateur et influencé par le conducteur selon qu'il désire augmenter ou diminuer la vitesse angulaire du moteur.

L'entrée d'air additionnel est réglée par le tiroir K qui est vertical et qui, selon la dépression plus ou moins grande, obture plus ou moins les orifices d'entrée d'air M (Fig. 75). Pour que ce tiroir obéisse aux variations de la dépression dans le carburateur, on surmonte sa tige d'un très large clapet Q (Fig. 75) qui est relié au couvercle de la boîte O dans laquelle il est enfermé par un soufflet circulaire en caoutchouc. L'espace compris entre le couvercle P et le clapet Q est fermé à l'exception d'un petit trou S de 2 mm. environ qui est percé sur le dessus de la boîte O. Lorsque le disque Q est attiré vers le bas par la dépression produite par le moteur, l'air entre avec lenteur dans la chambre PQ ; inversement quand, l'aspiration du

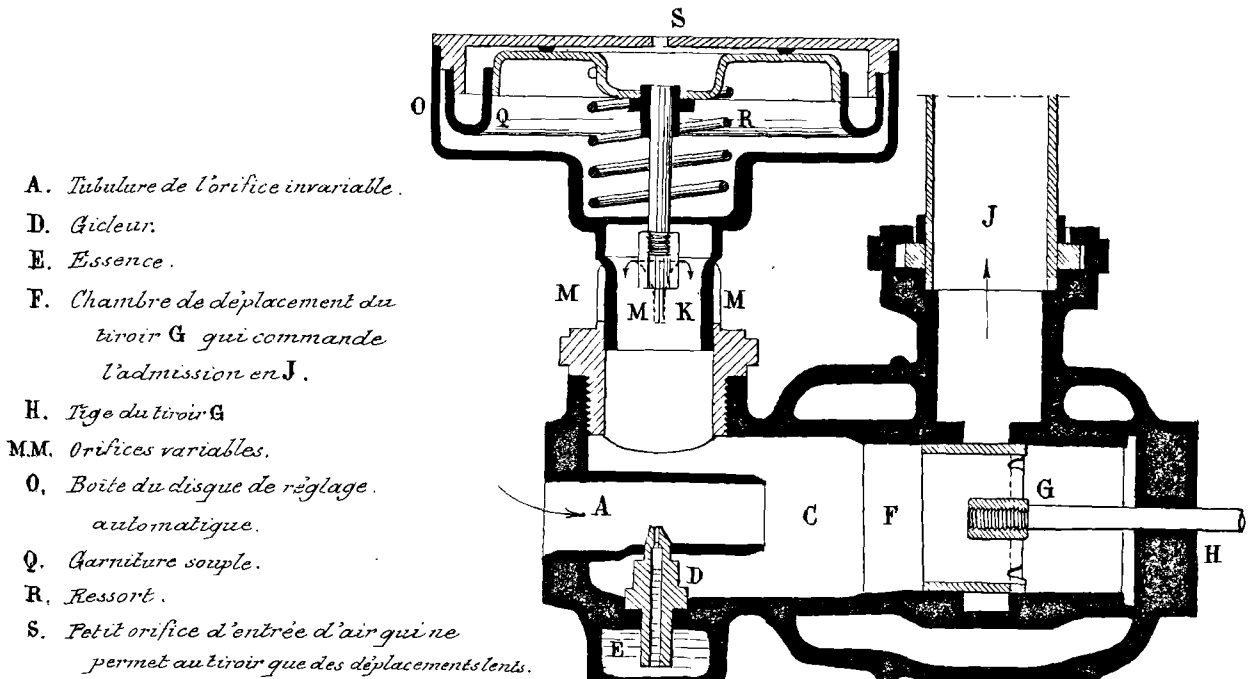


Fig. 73.

Coupe du carburateur Krebs à réglage automatique.
 (Locomotion 2^e Année. N° 65. 27 Décembre 1902.)

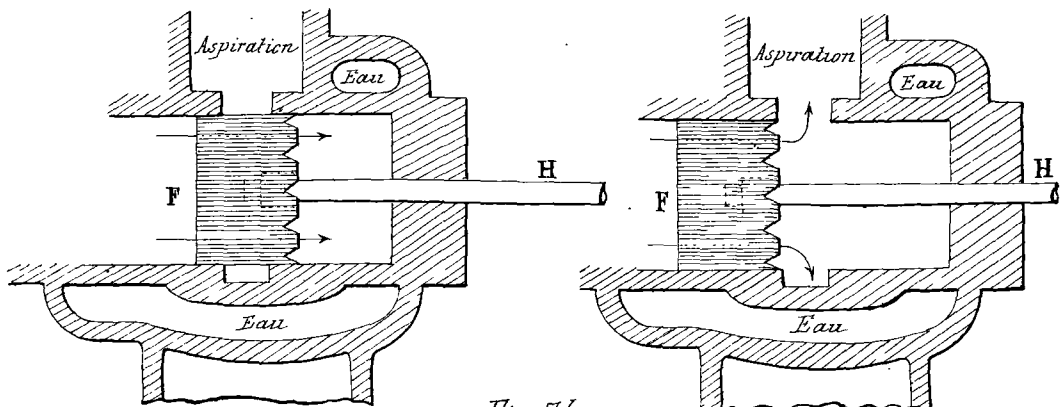


Fig. 74.

Les deux principales positions du tiroir-régulateur
 (actionné par les boules) (Locomotion. 2^e Année. N° 65.)

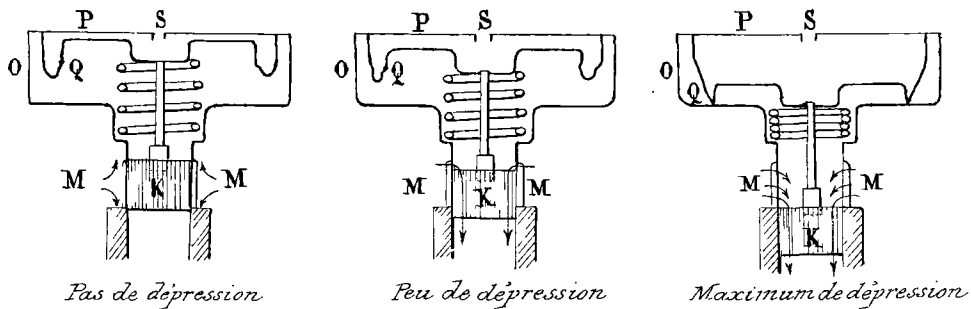


Fig. 75. Les principales positions du tiroir-doseur
(Locomotion - 2^e Année - N^o 65.)

moteur cessant, le ressort R ramène le clapet Q à sa position première, l'air ne sort que lentement de la boîte O par le trou S. Ces mouvements lents d'entrée et de sortie de l'air résultant des petites dimensions du trou S, ont l'avantage de produire une régulation progressive de la carburation. Si le trou S était grand, il ne produirait aucune diminution de pression au-dessus du clapet Q, l'air entrant brusquement maintiendrait constante la pression atmosphérique au-dessus de ce clapet, le tiroir K descendrait brusquement et découvrirait ainsi une ouverture d'air additionnel trop grande pour la dépression produite dans le carburateur ou pour la vitesse angulaire du moteur; inversement lorsque le ressort R rappellerait le tiroir K, il ne se produirait pas de compression au-dessus du clapet Q et les ouvertures M se trouveraient trop obturées.

Ainsi le nouveau carburateur Krebs se distingue des autres carburateurs existants :

1^o - par la forme de sa fenêtrée d'entrée d'air additionnel, construite de telle façon que le mélange introduit dans le moteur ait toujours la composition qui convient aux meilleures conditions d'utilisation;

2^o - par la commande faite par la dépression elle-même du tiroir qui ouvre plus ou moins cette fenêtrée d'entrée d'air additionnel;

3° - par le freinage progressif que donnent à ce tiroir aussi parfaitement équilibré que possible, l'arrivée et la sortie lente de l'air au-dessus du large clapet auquel il obéit. Cette particularité soustrait le tiroir aux influences perturbatrices des brusques dépressions et même des chocs de la route.

Avantages du Carburateur Krebs.

Les avantages de ce carburateur sont les suivants :

a) - La carburation est toujours celle qui convient à la bonne marche du moteur ; le conducteur n'a plus à s'en préoccuper, ni au départ ni en route, ni en hiver, ni en été ; le moteur part toujours au premier tour de manivelle.

b) - La température même à laquelle se fait le mélange y est sensiblement constante, car les abords du gicleur sont entourés d'une chemise d'eau qui se trouve dans le circuit de la circulation de refroidissement du moteur et non en simple dérivation. Le gel que produit l'évaporation de l'essence est, de plus, rendu impossible.

c) - Le mélange introduit dans le moteur ayant toujours, quelle que soit l'allure de celui-ci, la même composition, la puissance par coup de piston est toujours la même, que le moteur tourne à 1000 tours ou 200 tours par minute.

De là résulte une grande souplesse dont bénéficie immédiatement la voiture. On peut monter une rampe à une allure aussi réduite que l'on veut sans que le moteur ait de ratés ; on peut démarquer facilement dans n'importe quelles conditions.

§7 - Allumage par des procédés non électriques.

Procédés mis en usage pour l'inflammation du mélange tonnant dans un moteur à explosion.

Pour enflammer un mélange tonnant introduit dans un moteur à explosion, on a mis en œuvre les six procédés suivants :

I - La flamme d'un jet de gaz pénétrant par une ouverture

découverte, au moment voulu par un tiroir ou une soupape.

II - L'incandescence d'un tube ou corps creux quelconque (en platine, nickel, porcelaine, fonte, etc.....) porté au rouge par la flamme d'un brûleur fixe

III - La compression du mélange détonnant et l'élévation de température qui en est la conséquence.

IV - L'incandescence produite par l'effet dit catalytique du platine mis en contact, sous forme de tube, fil ou éponge, avec une masse de gaz combustible.

V - L'incandescence d'un fil de platine traversé par un courant électrique qui le porte au rouge.

VII - L'étincelle électrique, étincelle d'induction ou de rupture d'un circuit.

Les deux premiers modes d'inflammation nécessitent la présence à l'extérieur du moteur d'une flamme permanente; les 3^{me} et 4^{me} modes ne nécessitent l'emploi de cette source de chaleur qu'au moment de la mise en marche.

Dans les automobiles, on emploie plus particulièrement les modes d'inflammation II, IV combinés avec V, VI. Dans ce paragraphe nous allons étudier les modes d'allumage II et IV qui ne comportent pas l'emploi de l'étincelle électrique.

Mode d'allumage basé sur l'incandescence d'un corps creux quelconque. Ce mode d'allumage désigné aussi sous le nom d'allumage par tube consiste dans l'emploi d'un tube fermé, éprouvette ou corps creux de forme appropriée, dont l'intérieur est en communication directe avec la chambre de compression du moteur et dont l'extérieur est porté au rouge par un chalumeau alimenté généralement avec le même combustible que le moteur lui-même.

La figure 76 montre le schéma de ce mode d'allumage.

Lorsque le piston, pendant la phase de compression, comprime

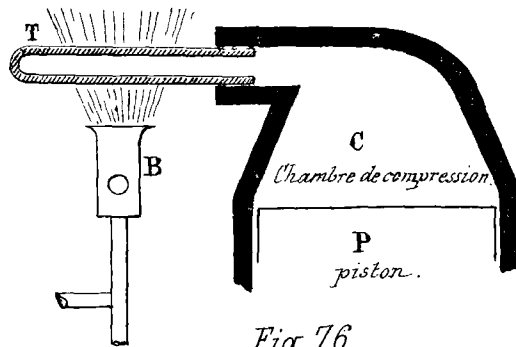


Fig. 76.

Principe de l'allumage par tube.

(G. Coupan. Bulletin de la Société des
Agriculteurs de France 1^{er} Avril 1902).

le mélange tonnant, une petite portion de celui-ci pénètre dans le tube, s'enflamme au contact des parois rougies par le brûleur B et communique l'inflammation au reste du mélange tonnant. Il est important que le volume du tube d'allumage soit bien en rapport avec le volume du mélange aspiré par le moteur, sinon l'allumage peut se faire mal ou même ne pas se produire du tout.⁽¹⁾ Les constructeurs déterminent expérimentalement les dimensions convenables; plusieurs même emploient des tubes dont la capacité intérieure est modifiable au gré d'une vis.

La matière qui constitue le tube d'allumage n'est pas indifférente. Ainsi le fer donne de mauvais résultats, car il se détériore et se déforme rapidement; d'après M^e Ringelmann, les tubes en fer employés dans les moteurs à gaz ne résistent pas plus de 50 heures. Les tubes de platine sont d'un bon fonctionnement, mais leur prix est très élevé. On a proposé le nickel qui coûte quinze fois moins cher que le platine; mais d'après M^e G. Saverigne, un tube de nickel ne dure que trois ou quatre mois. On emploie aussi certains alliages, comme le fer-nickel, le bronze d'aluminium, qui donnent d'excellents résultats. Les tubes en porcelaine peuvent être employés avec succès, si l'on prend soin de les abriter contre les courants d'air; enfin on a proposé de faire des tubes en quartz fondus.⁽²⁾

(1) Il faut en effet que le contact entre les parois chaudes du tube et une partie du mélange neuf se fasse à la fin de la compression au moment où celle-ci atteint sa plus grande valeur, les gaz inertes étant repoussés au fond de l'éprouvette.

(2) G. Coupan. - Moteurs à explosions et plus spécialement Moteurs à alcool (Bulletin de la Société des Agriculteurs de France - 15 Avril 1902. p. 454).

Les tubes en métal ou en porcelaine, sont généralement fermés à l'une de leurs extrémités; cependant dans certains moteurs à pétrole, où l'on utilise la chaleur dégagée par le tube d'allumage pour vaporiser le combustible avant la préparation du mélange tonnant, le tube est un cylindre ouvert aux deux extrémités; mais une soupape d'admission de pétrole vient l'obturer au moment voulu et jouer le même rôle que le fond des tubes fermés (Exemple: Carbureteur-allumeur Capitaine).

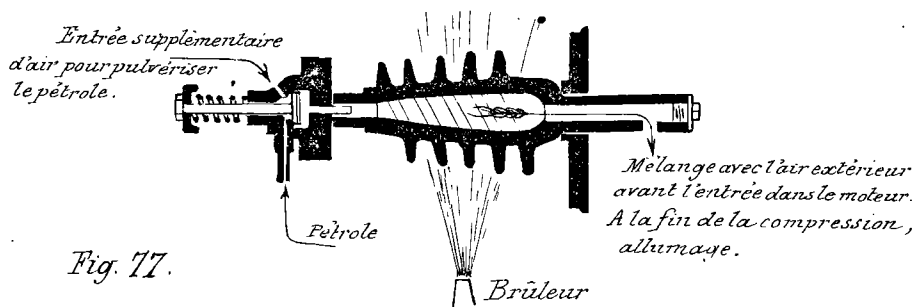


Fig. 77.

Carbureteur-allumeur Capitaine.

(J. Gobrex. Les Moteurs à pétrole. p. 85.)

Entre le tube et la chambre de combustion, on place parfois une soupape dite d'allumage, qui ne s'ouvre qu'au moment précis où l'explosion doit se produire et qui est commandée par la distribution; ce dispositif, qui pourrait permettre de modifier le point d'allumage, a pour but d'empêcher les explosions anticipées qui peuvent arrêter le moteur. Ce dispositif n'est cependant pas indispensable, car il suffit généralement de déplacer le chalumeau de façon à éloigner un peu de la chambre de combustion la partie du tube portée à l'incandescence pour supprimer ces coups de piston intempestifs. Ce réglage est surtout facile avec les tubes en porcelaine.

Quelle que soit la nature du tube, il est indispensable de porter et de maintenir ce tube à la température du rouge vif; on y parvient, ainsi que nous l'avons dit, au moyen de chalumeaux

ou brûleurs qui ne sont autre chose que des becs Bunsen appropriés à la nature du combustible employé.

L'un de ces brûleurs construit par la maison Longuemare (Fig. 78) est composé d'un tube métallique T terminé par un ajutage

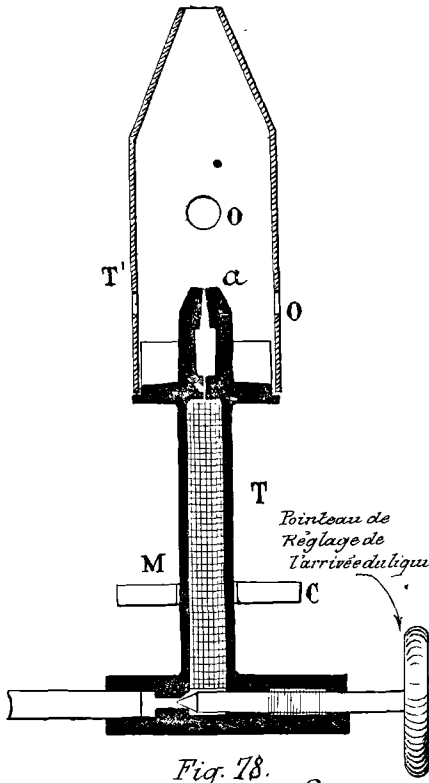


Fig. 78.

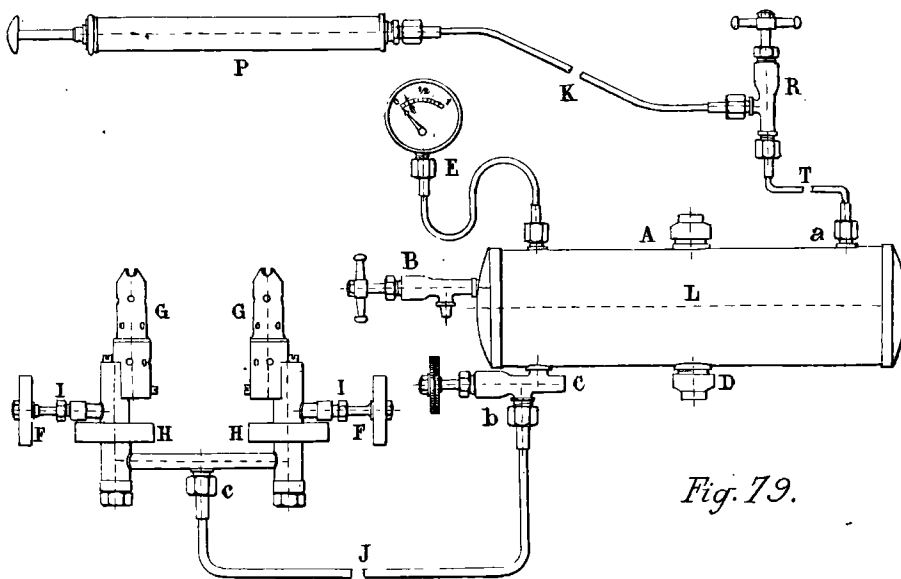
Schéma du brûleur Longuemare
(G. Coupan. Bulletin de la Société des
Agriculteurs de France. 15 Avril 1902).

de faible diamètre a par lequel s'échappe le combustible; au dessous de l'orifice a et entourant le tube T se trouve une cuvette C dans laquelle on enflamme, pour amorcer l'appareil, quelques centimètres cubes d'essence ou d'alcool, afin de porter le tube à une température suffisante pour volatiliser le combustible. Pendant le fonctionnement, cette température se maintient par conductibilité.

L'orifice a est surmonté d'un tube large T' aplati à son extrémité supérieure et percé au milieu et à la base de plusieurs trous O par lesquels arrive de l'air qui se mélange intimement au jet de combustible volatilisé s'échappant par a; le mélange

brûle avec une flamme très chaude en forme de papillon, à l'extrémité du tube T'. Le brûleur est placé à une faible distance en dessous du tube d'allumage et le tout est entouré d'une enveloppe cheminée réduisant les pertes de chaleur par rayonnement et surtout protégeant l'appareil contre les courants d'air. L'arrivée du combustible à l'orifice a se fait de deux façons. Lorsque le réservoir d'alimentation est situé simplement au-dessus du brûleur, c'est à dire

lorsque le combustible n'arrive qu'avec une faible pression, on dispose dans le tube T une mèche en toile métallique; on peut d'ailleurs augmenter assez sensiblement la puissance du brûleur en comprimant de l'air dans le réservoir à combustible au moyen d'une poise en caoutchouc qui permet d'obtenir une pression d'un cinquième d'atmosphère environ. Lorsque le combustible arrive sous une pression plus considérable la mèche métallique est inutile, le tube T est raccourci et le liquide, dont le débit est réglé comme dans le cas précédent par une vis à pointeau se réchauffe dans une chambre située tout près de l'orifice a. La figure 79 représente l'appareil complet pour l'allumage par incandescence des moteurs à explosion ⁽¹⁾.



- L. Réservoir d'essence minérale.
- A. Bouchon de remplissage.
- B. Robinet de niveau.
- C. Robinet de sortie du liquide.
- D. Bouchon de vidange.
- E. Manomètre.
- P. Pompe à air.
- K. Tuyau métallique de la pompe à air.
- R. Robinet d'introduction d'air.
- T. Tube métallique d'introduction d'air.
- a.b.c. Raccords coniques.
- G.G. Brûleurs.
- H.H. Cuvettes d'amorçage.
- F.F. Robinets de réglage.
- I.I. Presse-amiante.
- J. Tube de jonction du réservoir aux brûleurs.

Fig. 79.

Appareil complet à essence minérale pour l'allumage par incandescence des moteurs à explosion. (Système Longuemare.)

(1) Dans son excellent ouvrage "Les Recettes du Chauffeur", M^e Baudry de Saunier indique minutieusement les précautions que l'on doit prendre dans les automobiles qui possèdent l'allumage par brûleurs; il indique les pannes possibles et les moyens d'y remédier. Résumons dans le tableau suivant les pages 149 à 157 de l'ouvrage indiqué.

Tableau

Allumage spontané. Les allumeurs spontanés sont des allumeurs dérivés des tubes incandescents, mais dans lesquels il n'est besoin de faire fonctionner le

(Suite du renvoi de la page précédente)

Nature de la panne ou des défauts de l'installation des brûleurs et des tubes d'allumage	Causes de la panne ou des défauts de l'installation.	Moyens d'y remédier.
Brûleurs éteints.	<p>I - Trop d'essence. (L'essence arrive au brûleur plus vite que celui-ci ne peut la consommer. Flamme molle qu'un cahot peut éteindre par projection de liquide).</p> <p>II - Coup de vent.</p> <p>III - Saleté obstruant l'orifice d'arrivée de l'essence.</p> <p>IV - Desserrage de l'écran d'un tube de platine voisin d'un brûleur. (Le gaz comprimé par le piston fuit et souffle un des brûleurs.)</p>	<p>Fermer en partie le robinet d'arrivée de l'essence au brûleur et rallumer.</p> <p>Protéger les brûleurs au moyen d'une plaque de carton d'amiante couverte par du fil de fer à l'intérieur de l'entourage du moteur.</p> <p>Deboucher l'orifice avec une aiguille convenable.</p> <p>Eteindre les brûleurs et vérifier le serrage des écrous de tubes de platine.</p>
Flamme maigre c'est à dire manque d'épaisseur.	<p>I. Saleté obstruant le bec.</p> <p>II - Trou capillaire ^{trop petit} (ne permettant pas une arrivée suffisante d'essence pour la production de flamme normale)</p> <p>III. Mèche trop serrée. (L'essence la pénétré avec difficulté)</p>	<p>La chasser hors du brûleur avec une aiguille convenable.</p> <p>Laisser l'aiguille dans le trou.</p> <p>Changer la mèche ou l'amiroir.</p>
Flamme blanche (La flamme n'est pas bleue, elle éclaire mais ne chauffe pas)	<p>I - Trou trop gros. (L'essence passe trop abondamment par le trou capillaire pour la quantité d'air qu'aspire le brûleur). Orifice d'évacuation trop grand.</p> <p>II - Capsule dérivée sur la tige centrale.</p>	<p>Démonter le brûleur, placer horizontalement le tube central en appuyant son extrémité sur une pièce de bois ou de métal; à l'aide d'un marteau, frapper <u>très légèrement</u> tout autour de la capsule de façon à rebrioler un peu le métal vers le centre. Repasser l'aiguille dans le trou pour remonter la pièce.</p> <p>Eteindre le brûleur et revisser solidement en maintenant la pièce pour ne pas la briser ou la fausser.</p>
Flamme charbonneuse	L'arcelles de charbon dans la flamme	Changer la mèche.
Flamme vacillante.	Air dans la canalisation ou brûleur pas suffisamment chauffé avant d'avoir été allumé.	Attendre que la flamme redevienne normale c'est à dire une flamme large, bleue et transparente.
<p>Remarques - Précautions à prendre dans l'extinction d'un brûleur. (Pour avoir une flamme large, bleue et chaude).</p> <p>1° - Souffler le brûleur;</p> <p>2° - Ne fermer le robinet d'arrivée d'essence que lorsque l'essence arrive liquide à l'orifice de sortie. On empêche ainsi la calcination de la mèche du brûleur lorsque celle-ci est en coton et on dégage la canalisation des bulles d'air.</p> <p>Trop de tube de platine. Le tube de platine doit <u>briller</u>; s'il est terne ou sali par du noir de fumée, démonter la cheminée du brûleur et frotter légèrement le tube avec une <u>toile imbibée très fine</u>.</p>		

brûleur que pendant la période de mise en route. L'allumeur est alors formé d'une culasse assez volumineuse C (Fig. 80) venue de fonte avec le cylindre C' et raccordée avec le fond de ce dernier par un tube à étranglement;⁽¹⁾

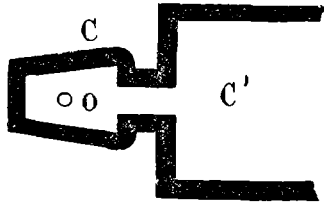


Fig. 80.

Principe de l'allumage spontané
(G. Coupan - Bulletin de la Société
des Agriculteurs de France.
15 Avril 1902.)

cette culasse sert aussi à vaporiser le combustible qui arrive par O. Pour la mise en marche, on chauffe la culasse avec une lampe à chalumeau quelconque; puis lorsqu'elle est portée au rouge, on met le moteur en action; une partie du mélange tonnant pénètre dans la culasse pendant la compression et s'y enflamme; la chaleur dégagée par l'explosion suffit pour maintenir la culasse au rouge. On conçoit que ce système d'allumage ne puisse fonctionner convenablement que lorsque les explosions se succèdent assez régulièrement; quand la régulation a lieu par Tout ou Rien, le moteur doit fonctionner constamment à une puissance voisine de la puissance maxima qu'il peut fournir, sans quoi la culasse se refroidit, dès que les explosions cessent, et risque de ne pas être assez chaude lorsqu'elles recommencent. Aussi ce mode d'allumage a-t-il été surtout appliqué aux moteurs dont la régulation se fait par modification de la composition ou du volume du mélange tonnant, aux moteurs dans lesquels

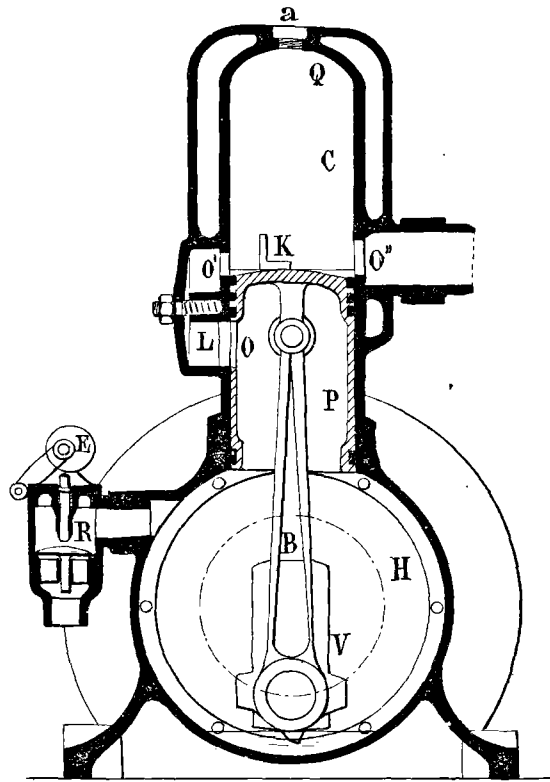
(1) Dans certains moteurs, la culasse C est uniquement composée du tube lui-même. M. M. Banki et Bonka (Revue Industrielle - 7 Août 1897), Latapie de Gerval (Chauffeur - 10 Février 1897), Southall (Revue Industrielle - 18 Décembre 1897) ont proposé des dispositifs variés. Ce mode d'allumage a été effectivement employé par la Société des Moteurs Benz et par M. Loyal; dans le moteur à deux temps de ce dernier inventeur (G. Lavergne. Manuel théorique et pratique de l'automobile sur routes - p. 195) le tube en nickel est seulement pour la mise en train, chauffé par une lampe à essence Longuemare. M. M. Banki et Bonka recommandent de chauffer les gaz neufs en les faisant passer dans un serpentin baigné par les gaz de l'échappement.

l'explosion a lieu régulièrement tous les quatre temps.

L'allumage spontané est employé sous une forme un peu différente dans le moteur Lemaître à deux temps.

Dans ce moteur qui est représenté dans la figure 81 et que nous décrivons dans la note ci-dessous, on met en marche au moyen de l'allumage électrique; puis, au bout de quelques minutes de mise en marche, cet allumage est supprimé, l'allumage du mélange se produit alors spontanément d'après le principe bien connu du briquet à air, le carburant jouant le rôle de l'amadou dans le briquet. Cet allumage spontané est favorisé par la forme particulière donnée au fond de la culasse.

- (1) Description du moteur Lemaître à deux temps. Se compose d'un cylindre C, ouvert par le bas dans le carter étouche H et fermé dans le haut par la culasse Q, démontable ou non, surmontée de la bougie d'allumage a. Un vilebrequin V se meut dans le carter; il est actionné par le piston P par l'intermédiaire de la bielle B. Le cylindre porte sur l'un de ses côtés deux orifices O et O' communiquant ensemble par le canal d'admission I₁ et avec l'intérieur du carter par le même orifice que O pratiqué dans le piston. Les 3 orifices d'admission se correspondent exactement lorsque le piston est en bas de sa course, O' débouchant immédiatement sur la face supérieure du piston. En regard et diamétralement opposé à O' se trouve pratiqué dans le cylindre l'orifice d'échappement O". Le carter porte également un clapet automatique R d'aspiration, servant de régulateur sur l'admission en se levant plus ou moins sous l'effet de l'excentrique E, commandé à la main ou par le régulateur. Pendant sa course ascendante vers le fond du cylindre, le piston P fait le vide dans le carter et aspire, par le clapet R, le mélange tout préparé venant d'un carburateur. En redescendant, il comprime partiellement le mélange jusqu'au moment où il découvre les orifices O et O'. Les gaz refoulés par dessous passent dans le cylindre au travers du canal d'admission I₁. Le piston remontant aussitôt comprime les gaz jusqu'à une fraction quelconque de la cylindrée suivant la compression voulue. L'allumage se produit et les gaz brûlés sont expulsés par l'orifice O" sitôt celui-ci découvert par le piston, un peu avant O' par lequel a lieu aussitôt une nouvelle admission. Une petite cloison K disposée sur le piston en regard de l'orifice O' évite que les gaz neufs ne passent directement de l'orifice d'admission O' dans celui d'échappement O"; enfin une armature de toile métallique disposée dans la chambre I₁ empêche tout transport de flamme du cylindre dans le carter.



- C. Cylindre.
- H. Carter étanche.
- Q. Culasse.
- a. Bougie d'allumage.
- V. vilebrequin.
- P. Piston.
- B. Bielle.
- L. Canal d'admission.
- O, O', ensemble par le canal L.
- O'. Orifice d'échappement.
- K. Clouon évitant que les gaz neufs ne passent de O' en O'.

Fig. 81.

Moteur à deux temps Lemaitre
(Locomotion. 3^e Année N^o 71. p. 93.)

Allumages dits Catalytiques.

Des allumeurs spontanés fonctionnant sans flamme, il faut rapprocher les allumeurs dits catalytiques. Ces allumeurs sont fondés sur certaines propriétés du platine, ou des métaux de la famille du platine.

On sait, d'après une expérience classique, que si l'on suspend dans un verre, au fond duquel se trouve de l'éther ou un carbure d'hydrogène suffisamment volatil, un fil de platine préalablement chauffé au rouge, le mélange gazeux formé par l'air et les vapeurs combustibles brûle sans flamme et maintient le platine incandescent. On sait maintenant que cette propriété, connue autrefois sous le nom de propriété catalytique du platine, est due à ce qu'une partie du mélange gazeux condensé dans les pores du métal s'y trouve maintenue à une pression supérieure

à la pression de l'atmosphère et se trouve alors dans des conditions convenables pour qu'il y ait combinaison, c'est à dire ici combustion.

Allumeur
Gans de Fabrice.

Cette propriété est utilisée dans l'allumeur Gans de Fabrice qui n'est qu'une imitation du thermocautère Laquelin.

Cet appareil se compose (Fig. 82) d'un dé en platine D, entouré

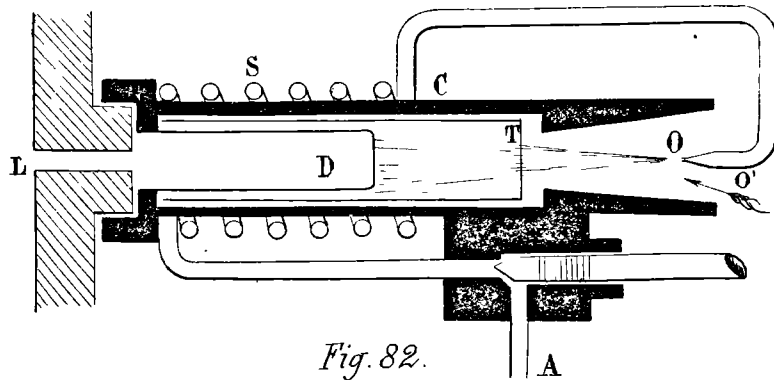


Fig. 82.

Schéma de l'allumeur auto-incandescent

(G. Coupan. Bulletin de la Société des Agriculteurs de France.
15 Avril 1902).

d'un tube T et d'une chemise C; le dé est en communication avec la chambre de compression du cylindre par la lumière I. Le carburant, essence ou alcool, provenant d'un réservoir où il est comprimé à environ 2 kilog., arrive par A, circule dans un serpentin S autour de la chemise C et s'échappe par l'ajutage O. Pour amorcer cet allumeur, il suffit de brûler quelques centimètres cubes d'alcool ou d'essence de façon à volatiliser le carburant contenu dans le serpentin S; ce carburant, s'échappant par O, aspire par O' un certain volume d'air et le dé de platine D devient incandescent; le rayonnement et la conductibilité suffisent ensuite pour maintenir le serpentin à la température nécessaire. Ce qui est intéressant dans cet allumeur, c'est la grande facilité avec laquelle on peut, en augmentant ou en diminuant l'admission du carburant, obtenir l'avance ou le retard à l'allumage. Si, en effet, le carburant arrive

abondamment, le dé tout entier est incandescent; s'il arrive en faible quantité, seule la calotte du dé se trouve à la température nécessaire pour produire l'explosion du cylindre. Le point d'allumage se trouve ainsi avancé ou reculé.

La masse de platine est introduite dans la chambre de combustion du moteur.

Au lieu d'employer un dé de platine, il suffit de placer à l'intérieur de la chambre de combustion une petite masse convenable formée d'un métal solide, inoxydable et suffisamment poreux pour condenser dans ses pores une petite quantité du mélange tonnant et provoquer sa combustion par cette augmentation de pression. On a essayé d'abord la mousse ou noir de platine obtenu en réduisant par la chaleur un sel comme le chlorure platinéux; mais pour avoir une surface d'absorption suffisamment considérable, on est obligé de faire absorber le chlorure platinéux par des matières très poreuses telles que l'écume de mer qui ont l'inconvénient de se réduire en poussière dans la chambre d'explosion du moteur. D'autre part, le platine en fil a l'inconvénient de fondre. Les autres métaux de la famille du platine ne peuvent être employés à l'état de pureté: l'osmium et le ruthénium, parce qu'ils se volatilisent au dessus de 1600° et que les acides osmique et ruthénique qu'ils forment sont très vénéneux; le palladium, parce qu'il fond à trop basse température.

Alliages de platine employés.

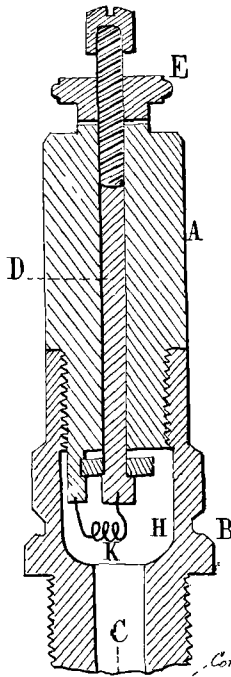
Mais deux alliages semblent actuellement résoudre la question. L'un d'eux, employé par M^r Wydo, est composé en parties déterminées d'osmium iridié et de ruthénium; l'autre préconisé par M^r Jans de Fabrica est formé de platine iridié et de ruthénium. Ces alliages constituent des métaux entièrement poreux, faciles à laminier ou à étirer en fils, absolument inoxydables et infusibles aux températures atteintes (1700° environ).

Pour mettre le moteur en marche, on amorce l'allumage en faisant traverser par un courant électrique le fil formé de l'alliage

sont nous venons de parler et qui est placé dans la chambre d'explosion. De là le nom d'allumeur électro-catalytique que M. Wydt a donné à son appareil.

Allumeur
électro-catalytique
Wydt.

La dernière forme que M. Wydt ⁽¹⁾ a donnée à son allumeur est celle d'une bougie ordinaire d'allumage (Fig. 83). Cet appareil est, en



- K. Spirale qui est portée à l'incandescence.
- D. Tige isolée de la masse de la voiture.

Allumeur
Electro-catalytique.
(Système Wydt)
(Locomotion 3^e Année
N^o 67)

Communication avec la chambre d'explosion
Fig. 83.

effet, composé d'un corps B, fileté extérieurement au pas des bougies d'allumage ordinaires et percé d'un canal C en communication avec une chambre d'explosion H, dans laquelle se trouve fixée la spirale K faite de l'alliage dont nous avons parlé plus haut.

L'incandescence vive de cette spirale produit l'allumage des gaz chassés dans la chambre H par la compression. Cette spirale est maintenue en deux points, l'un placé sur la pièce A, vissée elle-même dans le corps B, l'autre

sur la partie inférieure de la tige D.

L'appareil est entièrement construit en métal et la porcelaine en est complètement exclue; la tige centrale D est cependant isolée de la masse.

La figure 84 indique le schéma du montage de la bougie électro-catalytique sur le cylindre d'un moteur T. L'autre de cette bougie, un fil d va se fixer à l'une des bornes d'un rhéostat R. D'autre

(1) Arrien Galoux. - L'allumeur électro-catalytique. (Locomotion. 3^{me} année. N^o 67. p. 25)

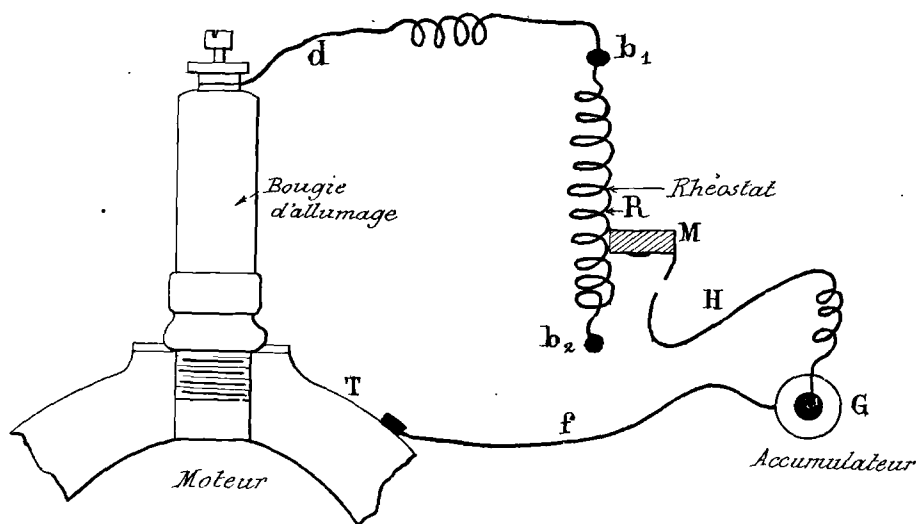


Fig. 84.
Installation sur un moteur de l'allumeur Electro-Catalytique.
(Système Wydts).

part, partant d'un point quelconque de la masse T, un second fil va rejoindre un petit accumulateur; de l'autre pôle de l'accumulateur part un troisième fil H qui va se relier à une pièce métallique M qui se déplace sur le rhéostat R de telle manière, qu'en éloignant cette pièce de la borne b_1 , pour la rapprocher de la borne b_2 , on augmente la résistance du circuit de l'accumulateur; on diminue ainsi l'intensité du courant qui parcourt ce circuit et par suite la température à laquelle est porté par ce courant le fil d'alliage osmio-iridio-ruthénique K de la bougie d'allumage. Inversement en rapprochant la masse M de l'extrémité b_1 , on élève la température de ce fil K. Ainsi avec le rhéostat R on peut régler, suivant la compression, le degré d'incandescence du fil K qui est nécessaire pour obtenir un départ facile du moteur.

Plus la température à laquelle est porté le fil K est élevée, plus l'explosion produite en un point se propage rapidement à l'intérieur du mélange, plus cette explosion se rapproche des conditions

dans lesquelles elle est instantanée; tout se passe donc, comme s'il y avait avance à l'allumage. Au contraire par un abaissement de température du fil K se produisent des phénomènes analogues à ceux qui résultent d'un retard à l'allumage.

Cette avance et ce retard à l'allumage se font automatiquement. En effet, si le temps pendant lequel dure la compression est très faible, les gaz n'ont pas le temps de céder de la chaleur aux parois du cylindre et leur température, à la fin de la compression est plus élevée, pour une même valeur de cette compression, que si la durée de la compression est plus grande. Or le temps pendant lequel se produit la compression est d'autant plus petit que le moteur tourne plus vite.

Par suite, quand la voiture est en palier ou en descente et que le moteur tourne très vite, les gaz sont, à la fin de la compression, portés à une température ^{plus élevée}; il en est de même du fil K et il se produit une avance automatique à l'allumage. L'inverse se produit, c'est à dire le retard automatique à l'allumage, a lieu quand le moteur ralentit par suite d'une surcharge, par exemple quand la voiture monte une côte. Enfin, pour une même charge de la voiture, on augmente l'avance à l'allumage et par suite la vitesse, en déplaçant le curseur M pour le rapprocher de la borne B, de manière à élever la température du fil K. En déplaçant la manette dans le sens opposé, on obtient le retard à l'allumage. ⁽¹⁾

(1) D'après M. Mylès, les avantages de l'allumeur électro-catalytique sont les suivants: 1^o - Suppression de la bobine d'induction et de ses inconvénients; 2^o - Suppression de la bougie de porcelaine et de ses ennuis; 3^o - Suppression de la batterie d'accumulateurs ou de piles, lourde, encombrante et souvent déchargée; 4^o - suppression de l'interrupteur à trembleur d'un entretien si délicat; 5^o - suppression des contacts nombreux et des fils à fort isolement; 6^o - suppression des brûleurs qui sont une chance continuelle d'incendie ou d'explosion; 7^o - suppression de la magnéto qui demande une installation spéciale et coûteuse et qui emprunte de la puissance au

§ 8 - Allumage Electrique par étincelle d'induction.

L'inflammation du mélange tonnant introduit dans un moteur d'automobile se fait aujourd'hui le plus communément en faisant éclater dans ce mélange une étincelle électrique très chaude, aussi bleue que possible. C'est cette méthode d'allumage que l'on désigne sous le nom d'allumage électrique du moteur.

Cet allumage peut se faire soit au moyen de l'étincelle d'induction, soit au moyen de l'étincelle produite par la rupture du circuit d'un courant ou étincelle d'extra-courant de rupture ou encore étincelle de self-induction.

Pour produire ces deux étincelles, on emploie deux types d'appareils et de dispositifs que nous allons successivement passer en revue.

Bobine
de Ruhmkorff.

On produit l'étincelle d'induction au moyen de la bobine de Ruhmkorff. Nous allons un peu insister sur les phénomènes qui se produisent dans cet appareil.

Une bobine de Ruhmkorff se compose essentiellement :

1^o - d'un circuit formé d'une bobine dont la résistance électrique est faible, c'est à dire d'une bobine à fil gros et court, présentant par conséquent un petit nombre de tours ;

2^o - d'un circuit formé d'une bobine dont la résistance électrique est considérable, c'est à dire d'une bobine à fil fin et long, présentant par suite, un très grand nombre de tours ;

(Suite du résumé
de la page précédente)

moteur ; 8^o - allumage intense, à 1700° sans aucun raté ; 9^o - dépense pratiquement nulle puisqu'il ne consomme de courant que pendant quelques secondes, au moment seulement de la mise en marche ; 10^o - entretien nul ; 11^o - pas d'encrassage possible, enflamme tous les mélanges ; 12^o - allumeur fonctionnant totalement immergé dans l'eau et ne craignant, en aucune façon, les intempéries ; 13^o - retard automatique à l'allumage au départ, permettant la mise en marche du moteur sans craindre les allumages prématurés.

3^e d'un barreau de fer doux, c'est à dire de fer aussi pur que possible.

La bobine à fil gros et court reçoit le nom de Bobine ou Enroulement primaire; la bobine à fil fin et long est désignée sous le nom de Bobine ou Enroulement secondaire. La bobine primaire enveloppe le fer doux et la bobine secondaire enveloppe la bobine primaire.

La figure 85 représente l'agencement du fer doux NS et des deux bobines primaire, désignée par AA, et secondaire, désignée par XX.

Faisons passer dans la bobine primaire un courant produit par une pile P, par exemple; le noyau de fer doux NS va s'aimanter.

Par un moyen quelconque, faisons varier l'intensité du courant qui passe dans la bobine primaire, nous faisons varier en même temps

l'aimantation du noyau de fer doux NS et nous observons les phénomènes suivants dans la bobine secondaire. Si les deux extrémités du fil de cette bobine sont réunies ensemble, de manière à constituer un circuit secondaire fermé, ce circuit secondaire est parcouru par un courant auquel on a donné, depuis Faraday, le nom de Courant d'induction.

Ce courant d'induction jouit des propriétés suivantes.

1^o Sa durée est égale à celle de la variation de l'intensité du courant qui parcourt le circuit primaire ou circuit inducteur.

Dès que le courant primaire ou Inducteur reprend une valeur constante, le courant secondaire ou Induit cesse immédiatement.

Courants
d'induction.

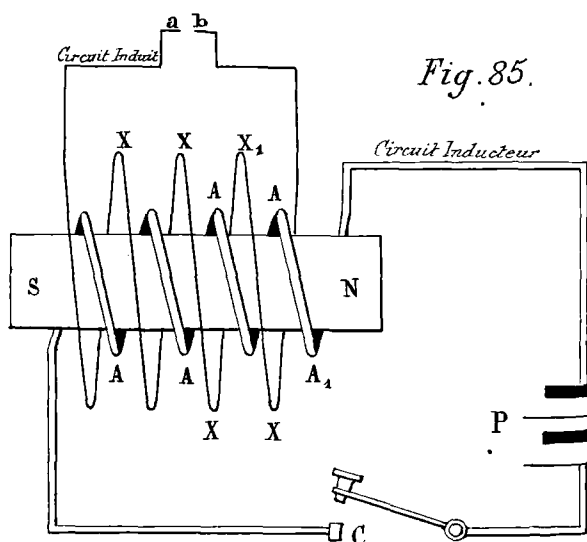


Fig. 85.

2^e - L'intensité et la force électromotrice ⁽¹⁾ du courant induit sont d'autant plus grandes que la variation d'intensité du courant inducteur dure un temps plus court.

Ainsi, pour une même variation d'intensité du courant inducteur, l'intensité et la force électromotrice du courant induit augmentent ou diminuent comme la vitesse de variation de ce courant inducteur.

3^e - La quantité d'électricité ⁽²⁾ mise en mouvement par l'induction dans le circuit secondaire dépend uniquement de la grandeur de la variation de l'intensité du courant inducteur et non de la vitesse de cette variation.

4^e - Considérons deux spires parallèles AA_1 , XX_1 , (Fig. 85) par exemple des bobines primaire et secondaire.

Lorsque l'intensité du courant inducteur augmente, la spire XX_1 est parcourue par un courant de sens inverse au courant inducteur qui parcourt la spire AA_1 . On exprime ce fait en disant :

Un accroissement dans l'intensité du courant inducteur donne naissance à un courant induit inverse.

Au contraire, lorsque l'intensité du courant inducteur diminue, la spire XX_1 est parcourue par un courant de même sens que celui

(1) On appelle force électromotrice du courant induit qui parcourt le secondaire de la bobine de Ruhmkorff, le produit de l'intensité du courant par la résistance électrique de ce secondaire.

(2) On appelle quantité d'électricité mise en mouvement par l'induction dans le circuit secondaire, le produit de l'intensité moyenne du courant induit par le temps pendant lequel ce courant parcourt le circuit secondaire.

En effet, l'intensité J du courant induit, variant à chaque instant de sa durée, la quantité d'électricité mise en mouvement par ce courant entre les instants t et $t + \theta$ de sa durée est $q = \int_t^{t+\theta} J dt$ ou, d'après un théorème fondamental du calcul intégral,

$$q = J_m \times \theta$$

J_m , valeur moyenne de l'intensité du courant.

qui parcourt la spire AA_1 . En d'autres termes :

Une diminution dans l'intensité du courant inducteur donne naissance à un courant induit direct.

En particulier lorsque l'on établit le courant dans le circuit primaire en abaissant la clé de contact C (Fig. 85), on donne naissance dans le circuit secondaire à un courant induit de sens inverse au courant inducteur; au contraire, lorsque l'on rompt le circuit inducteur en soulevant la clé de contact C (Fig. 85), on donne naissance dans le circuit secondaire à un courant induit de sens direct, c'est à dire de même sens que le courant inducteur.

Remarque.

Dans tout ce qui précède, nous n'avons pas parlé de l'influence du fer doux NS .

Lorsque l'intensité du courant inducteur augmente ou diminue, l'aimantation de ce fer doux augmente ou diminue. Cette variation dans l'aimantation du fer doux donne naissance, dans le circuit secondaire, à la production d'un courant d'induction. D'ailleurs la variation de l'aimantation du fer doux, qui est de même sens que la variation de l'intensité du courant inducteur, donne également lieu à la production de courants induits de même sens; une augmentation de l'aimantation du fer doux donne naissance dans le secondaire à un courant induit inverse et une diminution de cette aimantation produit un courant induit direct. Le noyau de fer doux ne fait donc qu'ajouter son action à celle du courant primaire de manière à donner dans le secondaire des courants de plus grande intensité et par suite de plus grande force électromotrice.

La pratique d'ailleurs démontre que, à ce point de vue, l'action du noyau aimanté sur le circuit induit est bien supérieure à l'action directe du primaire, c'est à dire à l'action du primaire agissant seul pour produire les phénomènes

d'induction. ⁽¹⁾

Courants de self-induction.

Les variations d'intensité d'un courant produisent des courants d'induction non seulement dans les conducteurs voisins comme nous venons de le voir, mais encore dans le conducteur même où il circule. Ces derniers courants sont appelés courants d'auto-induction ou de self-induction.

Lorsque dans un circuit, on augmente l'intensité du courant qui le parcourt, on donne naissance dans ce circuit à un courant de self-induction qui se superpose au courant principal mais qui est de sens inverse; au contraire si dans un circuit on diminue l'intensité du courant, on fait naître dans ce circuit un courant de self-induction direct

⁽¹⁾ La bobine de Ruhmkorff constitue un transformateur dit à action instantanée ou immédiate (c'est à dire dans lequel il ne s'écoule aucun espace de temps entre les modifications qui donnent naissance au courant à utiliser et l'utilisation de ce dernier) et homomorphe [c'est à dire, qui n'agit que sur les qualités du courant (force électromotrice, intensité, fréquence)]. Si en effet, on fait passer dans le circuit primaire un courant alternatif d'une certaine fréquence, on produit dans le circuit secondaire un courant alternatif ayant la même fréquence (la fréquence est le nombre de fois qu'en une seconde un courant reprend sa même intensité et sa même direction). La force électromotrice du courant secondaire est sensiblement égale à la force électromotrice du courant primaire multipliée par le rapport du nombre des spires des deux circuits ou rapport de transformation. Si la bobine secondaire est à fil fin et possède par suite un grand nombre de tours de fil, la force électromotrice du courant secondaire est plus grande que la force électromotrice du courant primaire. En même temps la résistance du secondaire est plus grande que celle du primaire, l'intensité du courant secondaire est plus petite que celle du courant primaire. Ainsi dans les conditions ordinaires, la bobine de Ruhmkorff transforme un courant de grande intensité et de faible force électromotrice en un courant de faible intensité et de grande force électromotrice. Si au lieu de lancer le courant primaire dans la bobine à gros fil, on le lançait dans la bobine à fil fin, on obtiendrait dans la bobine à gros fil un courant de moindre force électromotrice et de plus grande intensité. Ainsi avec des bobines convenables choisies, on peut transformer un courant qui a une intensité de 10 ampères et une force électromotrice de 1800 volts en un courant dont l'intensité est de 171 ampères et la force électromotrice de 100 volts.

ou de même sens que le courant principal.

En particulier, considérons le circuit primaire (Fig. 85) et fermons-le en abaissant la clé de contact C ; le courant principal qui prend naissance dans la bobine donne lieu à la production d'un courant de self-induction inverse qui tend à s'opposer à l'établissement du courant principal. L'aimantation du fer doux qui va en augmentant agit d'ailleurs dans le même sens pour augmenter l'intensité de ce courant d'induction.

Au contraire aurons le circuit primaire en soulevant la clé de contact C, l'interruption du courant principal et la diminution de l'aimantation du fer doux agissent dans le même sens pour donner naissance à un courant de self-induction de même sens que le courant principal.

Si les deux extrémités du circuit primaire ou les deux conducteurs de la clé de contact sont à une petite distance l'un de l'autre et sont séparés par de l'air, une étincelle jaillissant entre ces deux points rétablit pour le courant de self-induction la fermeture du circuit primaire qui, après l'interruption du circuit principal, se trouve ainsi parcouru par un courant de même sens que celui-ci. L'effet de la self-induction a donc été ici de prolonger en quelque sorte le courant principal, d'accroître le temps pendant lequel se produit sa variation.

On donne parfois au courant de self-induction inverse qui se produit lors de la fermeture d'un circuit le nom d'extra-courant de fermeture et au courant de self-induction direct qui prend naissance lors de l'ouverture d'un circuit le nom d'extra-courant d'ouverture.

Les intensités et les forces électromotrices de ces extra-courants vont en augmentant quand on accroît le nombre des spires du circuit qu'ils traversent et surtout quand on augmente la masse du fer doux

contenu à l'intérieur de la bobine.

Cas où le circuit secondaire
n'est pas fermé.
Étincelle d'induction.

Nous avons supposé jusqu'ici que le secondaire de la bobine était fermé. Admettons maintenant que les deux extrémités a et b de ce circuit (Fig. 85) soient peu éloignées l'une de l'autre et séparées par de l'air.

Lorsqu'on fait varier l'intensité du courant dans le primaire, il jaillit des étincelles entre les points a et b ; le circuit secondaire se fermant par suite de la production de cette étincelle est parcouru par un courant d'induction comme si les deux points a et b étaient en contact. On donne à cette étincelle le nom de d'étincelle d'induction.

Observons les étincelles d'induction qui se produisent soit lors de la fermeture du circuit primaire soit au moment de l'ouverture de ce circuit, nous constatons le fait suivant.

Pour une bobine déterminée dont le primaire est parcouru par un courant d'intensité donnée, il y a une distance d des deux extrémités a et b du secondaire au-dessous de laquelle l'ouverture et la fermeture du circuit primaire donnent lieu à la production d'étincelles entre les points a et b et au-dessus de laquelle l'ouverture du circuit primaire produit seul une étincelle entre ces deux points.

En d'autres termes, les courants induits directs d'ouverture peuvent traverser des couches d'air infranchissables aux courants induits inverses de fermeture.

Lorsque la distance des extrémités a et b est supérieure à une certaine limite, telle que la production des étincelles d'induction dues aux courants d'induction de fermeture ne puisse avoir lieu, le circuit induit est parcouru au moment où éclatent des étincelles par des courants qui, ayant tous le même sens, vont toujours du point a au point b par exemple.

Ce fait permet, d'après les conventions admises pour la propagation

du courant dans un conducteur, de désigner le point a sous le nom de pôle positif de la bobine et le point b sous le nom de pôle négatif de la bobine tout comme s'il s'agissait d'une machine d'électricité statique⁽⁴⁾. De plus, la longueur maxima de l'étincelle que donne une bobine déterminée, quantité par laquelle on étalonne couramment les bobines, repère seulement la force électromotrice aux bornes du secondaire du courant induit d'ouverture.

Condensateur de la bobine de Ruhmkorff.

Nous avons vu, dans ce qui précède que, au moment de l'ouverture du circuit primaire, il se produit une étincelle qui, retardant en quelque sorte l'ouverture du circuit, diminue la vitesse de variation de l'intensité du courant inducteur et la vitesse de variation de l'aimantation NS . Par suite, la production de cette étincelle a pour effet de diminuer la force électromotrice du courant induit.

Pour supprimer cette étincelle, Fezeau a proposé de mettre les deux armatures d'un condensateur en dérivation sur le circuit primaire, comme le montre la figure 86.

Nous avons représenté (Fig. 90) un condensateur cylindrique qui

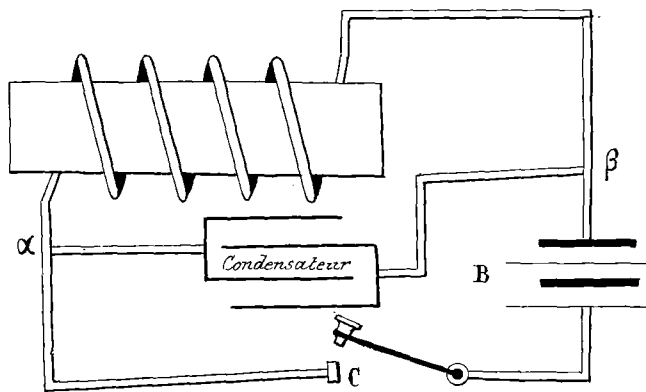


Fig. 86.

enveloppe toute la bobine; l'une des armatures est reliée directement en a à un point de la bobine primaire; l'autre armature, reliée directement en b , à un point de la bobine secondaire, communique par le fil 9

⁽⁴⁾ On peut prouver ce fait en montrant que pour une distance de ab supérieure à d , il se produit aux 2 pôles de la bobine d'un côté une aiguille lumineuse (pôle positif) et de l'autre un point brillant (pôle négatif).

avec la masse du moteur, c'est à dire avec la terre à laquelle le circuit primaire est relié par les fils 6, 5, 10. Dans la figure 88 le condensateur est plan et ses armatures sont directement reliées en α et β à deux points du circuit primaire de manière que ce condensateur soit en dérivation sur ce circuit. ⁽¹⁾

Interrupteurs du courant primaire. Comme nous venons de le voir, le courant primaire doit être interrompu et rétabli pour produire entre les deux extrémités α et β du secondaire, des étincelles d'induction.

Les interrupteurs employés en automobilisme doivent remplir les conditions suivantes :

- 1^o - Ils doivent être construits de telle manière que le moment auquel se fait l'interruption, puisse être déplacé par rapport à sa position normale de manière à permettre de produire l'avance ou le retard à l'allumage.
- 2^o - Ils doivent être d'un réglage peu délicat qui ne se modifie pas par suite des trépidations de la voiture et des projections d'huile ou de boue qui peuvent se produire.
- 3^o - Ils doivent être construits de manière à donner, pendant le temps très court que dure l'allumage, une série d'interruptions très nombreuses donnant naissance à une étincelle très chaude et aussi volumineuse que possible. ⁽²⁾

(1) On explique l'action du condensateur en admettant que la plus grande partie du courant de self-induction d'ouverture vient charger le condensateur ; une partie très faible de ce courant passant seulement par la dé de contact, ne produit plus d'étincelle ou n'en produit qu'une très faible. Le condensateur se décharge ensuite dans la bobine primaire en donnant un courant dont l'action s'ajoute, au moment de la fermeture, à celle du courant primaire et diminue l'influence retardatrice du courant de self-induction de fermeture.

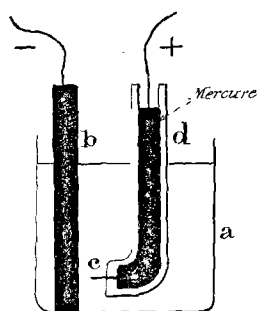
(2) S'il n'y avait qu'un petit nombre d'étincelles dont chacune est réduite à un simple trait de

Trembleurs.

Cette dernière condition est réalisée par l'emploi de trembleurs.

(Suite du renvoi de la page précédente).

de feu, il pourrait arriver que ces étincelles jaillissent dans une partie du mélange tournant trop pauvre pour s'allumer; on serait donc exposé à avoir des ratés. On comprend facilement qu'il n'en sera plus de même si l'étincelle présente un certain volume, si elle se produit sous la forme spéciale que l'on désigne actuellement sous le nom de *Chenille*. Dans les laboratoires, on obtient ce phénomène d'une manière bien nette, au moyen d'un interrupteur dit de *Whehnelt*. Cet interrupteur se compose essentiellement de deux électrodes qui plongent dans un vase à contenant de l'eau acidulée.

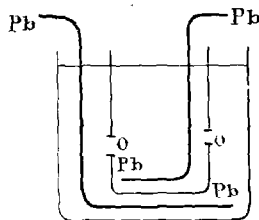


Interrupteur *Whehnelt*

dulée au $\frac{1}{10}$ par de l'acide sulfurique. L'une des électrodes *b*, en plomb, présente une grande surface; l'autre électrode doit au contraire présenter la plus petite surface possible; on la forme d'un fil de platine *c* soudé à l'extrémité d'un tube de verre *d* rempli de mercure. L'électrode de large surface doit être reliée au pôle négatif de la source d'électricité utilisée; l'électrode filiforme au pôle positif. Dans ces conditions, si la source utilisée présente un voltage assez élevé (50 volts au minimum) une série d'interruptions rapides se produit au voisinage du fil de platine, au sein du liquide. Le nombre des interruptions par seconde varie avec la longueur et le diamètre du fil de platine employé et aussi avec la nature du liquide dans lequel plongent les électrodes. Il égale en moyenne 5 à 600 et peut

atteindre 800. Avec un tel interrupteur, on obtient l'étincelle, non plus sous forme d'un trait lumineux unique, mais sous celle d'un faisceau de traits lumineux auquel on a donné le nom de *chenille*.

On a donné à l'interrupteur *Whehnelt* toute une série de formes (Voir pour la description de ces divers interrupteurs. A. Turpain. Les applications pratiques des ondes électriques. p. 85 à 103. Paris. Saut. 1902). L'une de ces formes qui est la plus simple et la plus robuste est celle qui a été imaginée par *M^r Caldwell*.



Interrupteur *Whehnelt* à orifices. Dans ce modèle il est indifférent de relier les lames de *Pb* à un des pôles de la source d'électricité.

(The Electrical Review. t. 44. p. 837 - Mai 1899) et par *M^r Simon* (Wiedemann's Annalen t. 68 - p. 860. Août 1899). Au lieu d'employer une électrode filiforme et une électrode à large surface, on prend deux électrodes à large surface, deux lames de plomb par exemple. Deux vases d'inégales grandeurs sont placés l'un dans l'autre et contiennent chacun une des lames de plomb. Ils sont remplis d'eau acidulée au $\frac{1}{10}$ par l'acide sulfurique. Le vase intérieur communique avec le vase extérieur par un ou plusieurs orifices *O, O*, obtenus en perforant dans la paroi de petits trous de moins de

1,5 millimètres de diamètre. C'est au voisinage immédiat de ces orifices que les interruptions se produisent.

Ils sont constitués par une lame mince et flexible E_1 (Fig. 87) en acier, encadrée à une extrémité dans une mâchoire F et qui s'applique

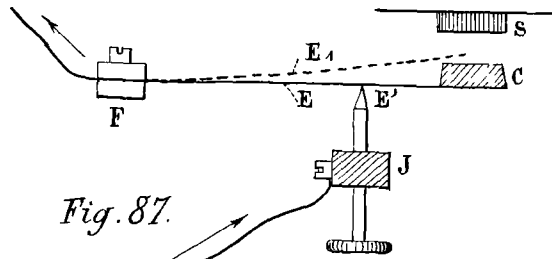


Fig. 87.

Trembleur Magnétique.

normalement sur une pointe E_2 . Si l'on a relié la mâchoire F et la pointe E_2 à deux points du circuit primaire, la lame E_1 , dans sa position normale, laisse passer le courant primaire dans la bobine. Mais si on écarte cette lame pour

l'amener en E_1 , la pointe E_2 cesse d'être en contact avec elle et le courant primaire est rompu; si on abandonne alors la lame E_1 , elle reprend d'elle-même, par son élasticité, sa position première et rétablit le courant dans la bobine primaire.

Il suffit donc, pour obtenir un grand nombre d'interruptions dans un temps très court, de provoquer la vibration rapide de la lame E_1 .

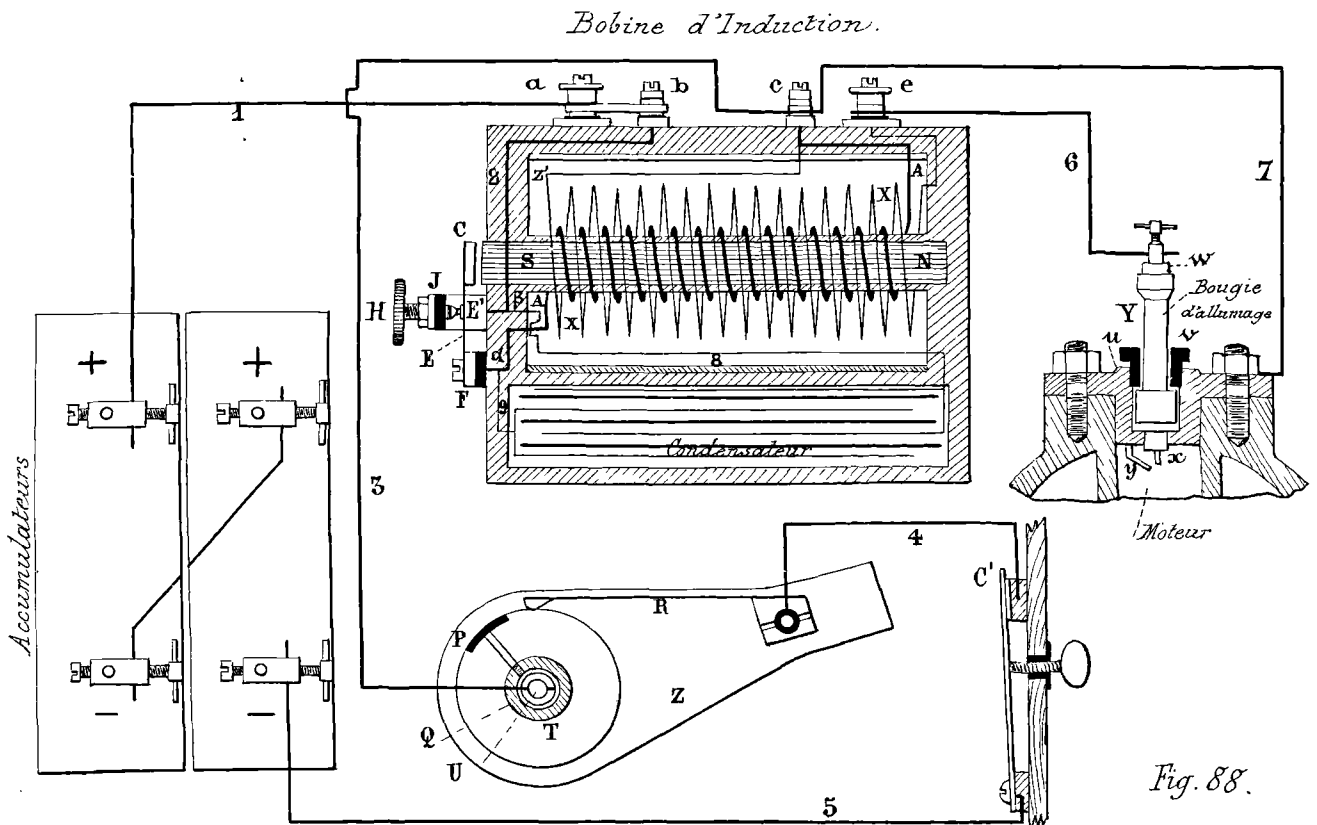
Trembleur magnétique).

Pour cela beaucoup de constructeurs utilisent l'aimantation que produit le passage du courant primaire dans le faisceau de fils de fer placé au centre de la bobine. Si l'on place en effet à l'extrémité de E_1 une petite masse C de fer doux, cette masse, attirée par l'extrémité S de l'aimant, est entraînée ainsi que la lame E_1 ; le circuit primaire se rompt; aussitôt l'aimantation cesse dans l'aimant de la bobine, la lame revient au contact de la vis, le courant circule à nouveau dans la bobine; d'où aimantation, rupture du courant, etc.. On peut augmenter ou diminuer la fréquence des étincelles en modifiant l'amplitude des oscillations de la lame E_1 . Si on agit sur la vis J pour presser la pointe E_2 sur la lame et tendre celle-ci à la façon d'un ressort, les vibrations sont plus rapides. Il ne faut pas d'ailleurs exagérer

cette tension de la lame, sous peine de difficultés de départ ou même de collage de la barre C sur le noyau de fer doux de la bobine.

Nous avons représenté dans la figure 88 l'installation complète d'un trembleur magnétique. Le courant des accumulateurs vient par le conducteur 1, par les bornes a et b, par le conducteur 2 à la vis H mobile dans l'écrou J. Le contact étant établi en E' entre la vis H et la lame flexible E, le courant primaire passe par cette lame, traverse la bobine primaire à gros fil de la bobine d'induction, sort de cette bobine par la borne c et par le fil 3.

Lorsque le ressort R vient en contact avec la pièce métallique P



*Schéma de l'allumage électrique du type Benz.
(Worby-Beaumont, Motor Vehicles and Motors.)*

le courant primaire revient aux accumulateurs par le contact P, le ressort R, le fil 4, le conducteur C', le fil 5.

La pièce Z sert pour produire les variations du point d'allumage. Elle est en substance isolante et porte un disque I isolant, sur la circonférence duquel est fixée une plaque conductrice P en relation par un conducteur avec l'anneau conducteur Q monté isolé sur le tourillon qui porte la came de commande de la soupape d'échappement et qui fait un nombre de tours moitié moindre que l'arbre du moteur. Enfin un ressort R frotte sur la surface du disque I. Lorsque l'extrémité de ce ressort vient en contact avec la pièce métallique P, le circuit primaire est fermé et le trembleur magnétique de la bobine d'induction se met en mouvement; le circuit primaire est interrompu aussitôt que cesse le contact entre le ressort R et la plaque conductrice P.

On voit immédiatement que si l'on fait tourner la pièce Z autour de l'axe U on peut éloigner ou rapprocher la pièce P de l'extrémité du ressort R et par suite l'avancer ou le retarder à l'allumage.

Trembleur
mécanique.

On reproche parfois au trembleur magnétique de ne pas toujours présenter la sécurité de fonctionnement désirable. Aussi propose-t-on d'actionner mécaniquement la lame élastique E' (Fig. 89).

C'est dans ces conditions qu'est disposé le trembleur de Dion-Bouton (Fig. 89). La lame E porte une touche que soulève la came D mue

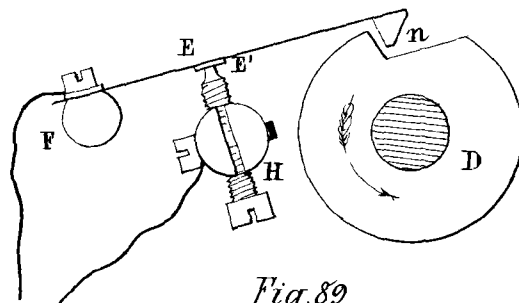


Fig. 89

Trembleur mécanique de Dion-Bouton.
(G. Coupain. - Bulletin de la Société des
Agriculteurs de France. 1^{er} Juin 1902.)

par l'arbre de distribution; la lame flexible ne peut donc appuyer sur la pointe E' de la vis H qu'au moment où la touche tombe dans l'encoche n de la came, chute qui est nécessairement accompagnée de quelques oscillations de la lame E'.

La figure 90 représente l'installation complète d'un trembleur mécanique de Dion-Bouton. Le courant primaire part de la batterie d'accumulateurs par le fil 4 et la borne a, passe dans l'enroulement primaire, revient à la borne c, traverse le fil 1, arrive à la borne r, passe de là dans la vis H. Lorsque le contact entre la lame E' et la vis H est établi en E', le courant primaire passe à travers la lame E', vient à la borne s, suit le fil 2 et arrive à la masse du moteur, c'est à dire à la terre;

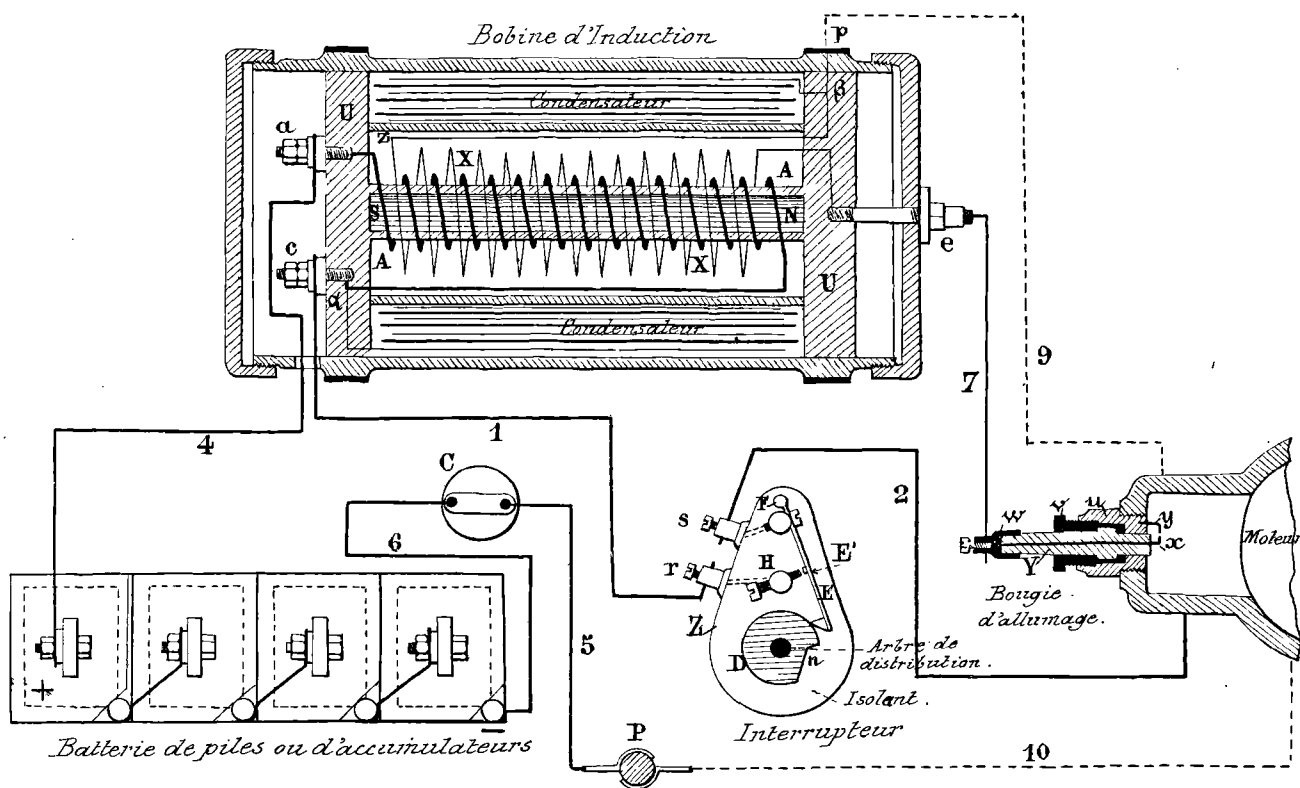


Fig. 90
Schéma de l'allumage de Dion-Bouton.
(Worby-Beaumont, Motor Vehicles and Motors.)

- | | |
|--|--|
| N.S. Aimant formé de fils de fer | e. Autre extrémité du circuit secondaire. |
| U. Bobine isolante. | D. Disque métallique. |
| AA. Circuit primaire. | n. Encoche dans le disque D. |
| a. c. Extrémités de la bobine primaire. | E. Lame élastique en relation avec la borne s. |
| XX. Circuit secondaire. | E'. Contact de platine. |
| p. Plaque de métal en connexion avec l'une des extrémités du circuit secondaire. | H. Vis en relation avec la borne r. |

le second pôle de la batterie est réuni à la terre par les fils 5 et 10. Dans la figure 90, le courant primaire est interrompu.

On conçoit maintenant qu'en faisant tourner la plaque isolante Z , autour de l'arbre de distribution, on puisse déplacer l'encoche n par rapport à l'extrémité de la lame E et par suite produire l'avance ou le retard à l'allumage.

Inconvénients du trembleur mécanique.

Dans le trembleur mécanique que nous venons de décrire, la lame élastique E , doit osciller autour de sa position d'équilibre pour produire une série d'ouvertures et de fermetures du circuit primaire. L'amplitude de sa vibration doit donc être assez grande et par suite, lorsque le circuit primaire est interrompu, la distance qui existe entre la lame E et l'extrémité E' de la vis H doit être assez grande.

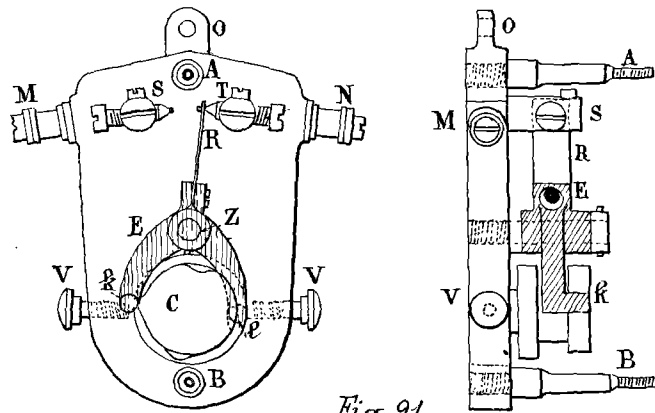
Or, si la came D tourne lentement, le bec qui se trouve à l'extrémité de la lame E ne tombe pas brusquement dans l'encoche n . La lame n'est pas animée de vibrations d'une amplitude suffisante et ne vient pas toucher l'extrémité E' de la vis H ; il se produit des ratés. Pour que la lame E ait une amplitude de vibration assez grande pour venir au contact de la pointe E' , il faut que la came D tourne avec une vitesse qu'elle ne possède généralement pas dans les premiers instants de la mise en train, puisque sa vitesse est invariablement liée à celle du moteur. D'où, nécessité de tourner très vite et souvent très longtemps la manivelle du moteur, ce qui en rend la mise en marche pénible et laborieuse.

Il ne faut pas songer à remédier à cet inconvénient de la mise en train en rapprochant la vis butée assez pour qu'il y ait contact avec la lame vibrante au moment même où le bec de celle-ci descend dans le cran de la came. On n'aurait pas de vibrations de la lame E ; on produirait non pas une série d'interruptions et de rétablissements du courant primaire, mais une seule fermeture de ce courant;

on n'aurait qu'une seule étincelle. De plus la lame *E*, restant en contact avec *T* un temps appréciable, mettrait la batterie de piles ou d'accumulateurs en court-circuit, inconvénient grave, qui produirait sa détérioration.

Nouvel allumeur de Dion-Bouton.

Aussi la maison de Dion-Bouton vient-elle de pourvoir sa voiture à deux cylindres (types 1903) d'un allumeur de modèle nouveau. Le trembleur est remplacé par une lame rigide *R* (Fig. 91) qui vient alternativement faire contact avec l'une des deux vis platiniées *S* et *T*, mais



- AB. Colonnes de support du couvercle.
- MN. Bornes des fils.
- VV. Taguets à ressorts.
- C.C'. Came double.
- E. Etrier.
- Z. Ressort ramenant l'étrier au contact.
- ST. Vis platiniées.

Fig. 91.

Le nouvel allumeur de Dion-Bouton
(Locomotion. 3^e Année N. 67).

qui ne vibre pas. Cette lame est montée sur un étrier *E* qui peut osciller sur son centre selon les mouvements que lui donne une came double *C* formée de deux cames identiques superposées, mais de telle façon que le bec de l'une soit écarté d'un quart de tour du bec de l'autre (à cause des allumages des deux cylindres). Les branches de cet étrier sont terminées en *K* et en *L* par des pièces rondes rapportées et trempées qui suivent la came double dans tous ses mouvements. Quand, par exemple, le bec de la came d'avant repousse le bras *K* pour amener la lame *R* au contact de *T*, le bras *L* se loge dans le creux de la came d'arrière; mais à peine y est-il descendu que la rampe de la came l'en fait sortir et que le contact de *R* et de *T* cesse. ⁽¹⁾

(1) L. Baudry de Saunier. — La voiture de Dion-Bouton (2 cylindres) [Locomotion. 3^e année. N. 67. p. 22].

Inconvénients
du trembleur
magnétique.

Étudions maintenant le dispositif qui consiste à faire fermer, au moment convenable, par une came à bossage, le circuit primaire d'une bobine à trembleur magnétique dont les vibrations donnent lieu à une série d'étincelles entre les bornes de la bougie d'allumage.

Cette méthode a l'avantage de rendre la mise en marche du moteur beaucoup moins pénible et laborieuse qu'avec le dispositif précédent. En effet, on peut tourner la manivelle de mise en marche aussi lentement que l'on voudra; il y a toujours un courant primaire qui, étant interrompu et rétabli par le trembleur magnétique, donne naissance à des étincelles produisant sûrement l'inflammation du mélange.⁽¹⁾

Ce dernier système a donc sur le trembleur mécanique l'avantage de provoquer au départ un allumage qui est toujours sûr. Par contre, il présente l'inconvénient, que n'a pas le premier système, de donner des ratés lorsque le moteur tourne à plus de 1200 tours par minute. En effet, la fréquence de vibration du modèle de trembleur actuellement et généralement employé est comprise entre 162 et 172 vibrations simples par seconde, ce qui, par conséquent, correspond à 81 et 86 ruptures de courant; le temps nécessaire aux trembleurs actuellement employés pour rompre puis établir le courant primaire est de $\frac{1}{86}$ de seconde au minimum. Or supposons que le temps pendant lequel le courant est fermé par la came soit inférieur à $\frac{1}{86}$ de seconde; la lame vibrante de la bobine d'induction pourra pendant ce temps ouvrir le circuit primaire; mais lorsqu'elle reviendra à son point de départ pour fermer ce circuit, celui-ci sera déjà ouvert par la suppression du contact de la came. Il n'y aura donc pendant la durée du contact de la came, qu'une seule étincelle de rupture au lieu du flot d'étincelles que nous avons montré être nécessaire pour être bien certain de l'allumage du mélange tonnant contenu dans le moteur.

⁽¹⁾ J. Desjardins. — Une nouvelle bobine d'allumage (Locomotion. 2^e année. N^o 50. p. 581).

Ainsi donc suivant que la durée de fermeture par la came du courant primaire sera supérieure ou inférieure à $\frac{1}{86}$ de seconde, il y aura avec les trembleurs ordinaires une série d'étincelles d'allumage ou une seule étincelle de rupture; il y aura, pour un mélange tonnant convenable, allumage, certain ou raté possible.

Or, c'est précisément ce qui se passe dans les moteurs qui tournent à des vitesses supérieures à 1200 tours par minute. En effet, la came de contact est commandée par un pignon qui fait un tour quand le moteur en fait deux; d'autre part, le temps pendant lequel le contact est établi est la durée qui correspond à $\frac{1}{10}$ de tour du pignon. Si le pignon fait 600 tours par minute (1200 tours pour le moteur), il fait 10 tours par seconde et la durée de $\frac{1}{10}$ de tour est égale à $\frac{1}{100}$ de seconde, c'est à dire inférieure au temps nécessaire, au trembleur pour donner une rupture et une fermeture du circuit.

Pour éviter des ratés d'allumage, avec des moteurs tournant à plus de 1000 tours, il convient donc d'employer des bobines munies de trembleurs dont la période de vibration totale soit très inférieure à $\frac{1}{80}$ de seconde.

Trembleur
de M. M. Aroux et Guerre. C'est à ce résultat que sont parvenus M. M. Aroux et Guerre en construisant un modèle de trembleur donnant, sous 4 volts, 436 ruptures par seconde (ou 872 oscillations simples), c'est à dire 5 étincelles de rupture dans le temps où le trembleur ordinaire en donne 1. Avec un tel trembleur, on peut pousser la vitesse jusqu'à 5000 tours, valeur qu'on est loin d'atteindre même avec les très petits moteurs.

Comme le montre la figure 92, le trembleur proprement dit est réduit à une simple lame d'acier très magnétique, de la largeur du noyau inducteur et de $\frac{2}{10}$ à $\frac{3}{10}$ de millimètre d'épaisseur, encartée par une de ses extrémités dans une masselotte isolée B et munie à l'autre extrémité d'un contact ou rivet en platine C.

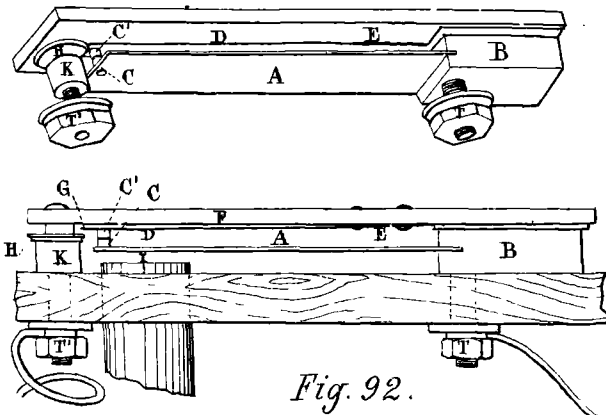


Fig. 92.
Trembleur de M. Arnoux et Guerre.
(Locomotion 2^e Année N° 50).

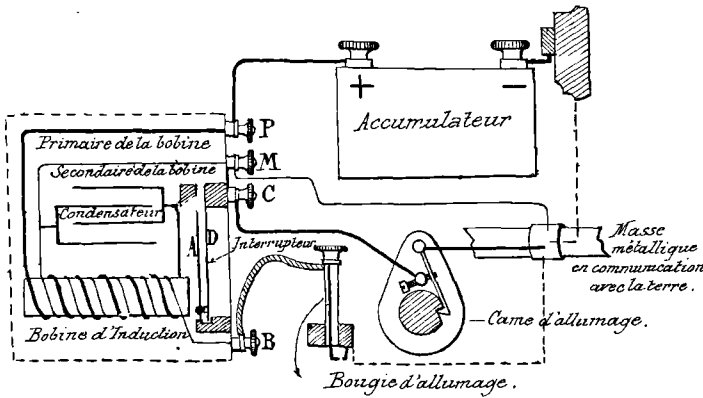


Fig. 93.
Schéma de l'appareil Arnoux et Guerre.
(Locomotion 2^e Année - N° 50)

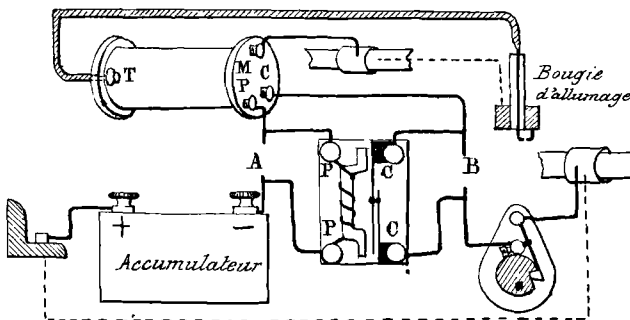


Fig. 94
Installation du trembleur magnétique Arnoux et Guerre sur une bobine quelconque.
(Locomotion 2^e Année N° 50)

Au repos, cette lame A est bandée contre une autre lame D, très élastique, beaucoup plus courte, munie également d'un contact en platine C', qu'une bande initiale de la lame D force à s'appuyer constamment sur le contact C et cela quelle que soit l'amplitude des vibrations de la lame principale A. La lame D est fixée par une de ses extrémités E sur une plaquette ou platine en fer doux F; son autre extrémité G se termine par un bec susceptible d'être arrêté dans sa course vibratoire par un entablement H ménagé dans la colonnette support K. La platine en fer doux F s'aimante sous l'influence du noyau inducteur de la même manière que la lame A; elle repousse alors celle-ci et ajoute ainsi

son action à celle du noyau inducteur.

Le fonctionnement de ce trembleur est alors le suivant.

Dès que le courant traverse le primaire de la bobine et le contact CC' par l'intermédiaire des lames A et D et des tiges I et I', le noyau inducteur attire la lame A que la contre-lame D accompagne jusqu'au moment où le bec G de cette dernière est brusquement arrêté dans sa course par la butée H. Cet arrêt en pleine vitesse vibratoire de la lame de contact D a pour effet de produire une rupture extrêmement brusque du courant primaire et par suite, d'augmenter comme nous l'avons vu la force électromotrice de l'extra-courant de rupture.

Remarque.

On construit même ce trembleur isolé, c'est à dire applicable à toutes les bobines actuelles possédant ou non un trembleur magnétique. Par exemple, le propriétaire d'une voiture de Dion peut installer dans le circuit électrique de celle-ci, sans rien modifier au dispositif actuel, un trembleur magnétique représenté en PPCC (Fig. 94) qu'il suffit de monter comme l'indique la figure. De la sorte, le trembleur mécanique de Dion n'a plus besoin de réglage minutieux; il suffit qu'il touche la vis platinée lorsqu'il tombe dans l'encoche!⁽¹⁾

Trembleur de M^e Lacoste

Pour obtenir des interruptions très rapides, M. Lacoste⁽²⁾ diminue l'inertie du trembleur en supprimant le marteau du trembleur, c'est à dire la masse C (Fig. 95) qui se trouve à l'extrémité de la lame élastique

(1) Dans le N° 75 de la Locomotion (7 Mars 1903) M^e L. Baudry de Saunier signale, à propos de cet appareil, quelques points que la pratique a enseignés.

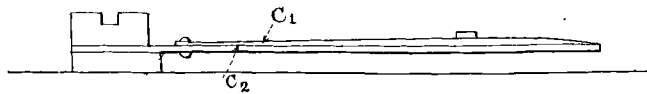
1^o - Le coup de manivelle pour la mise en marche ne doit pas être brusque comme lorsqu'il s'agit d'un simple trembleur mécanique (type de Dion-Bouillon ou analogue) mais lent. Le meilleur procédé consiste à passer lentement le point de compression en appuyant progressivement sur la manivelle. Le moteur doit partir dès que la compression est vaincue.

2^o - Il y a intérêt, si l'on désire une marche de rendement maximum, à faire de l'auto-trembleur un auto-démarréur, c'est à dire à ne conserver l'auto-trembleur que pour la mise en marche ou pour un régime très lent.

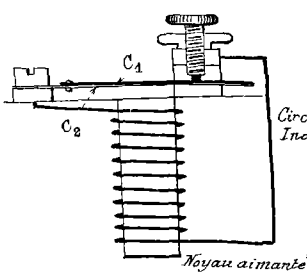
(2) Séan Grenoy - Nouveautés pour l'allumage électrique. (Locomotion. 3^e année. N° 75. p. 151).

du tremblement. Mais pour éviter que cette lame ainsi allégée ne soit trop facilement attirée par le noyau magnétique inducteur de la bobine et ne rompe le circuit primaire avant que le courant primaire n'ait atteint son intensité de régime normal, le constructeur emploie le dispositif suivant, inspiré par celui de M. St. Arnou et Guenne.

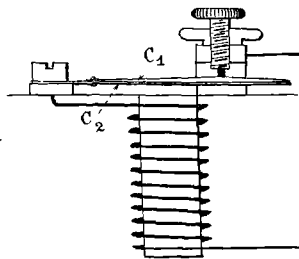
Le vibreur de M. Lacoste se compose de deux lames de flexibilité différentes, rivées l'une sur l'autre. Lorsque le vibreur est au repos (Fig. 95), la lame inférieure C_2 applique, par l'effet de son ressort, la lame supérieure C_1 contre elle-même et contre la vis de réglage, qui lui amène le courant. Quand on fait passer le courant dans le circuit inducteur, la lame C_2 est attirée la première, elle s'incurve et pendant ce temps, le circuit primaire est toujours établi par l'intermédiaire de la lame C_1 ; lorsque la lame C_2 a effectué une course convenable, elle attire la lame C_1 et le circuit primaire est interrompu très brusquement. Or, cette



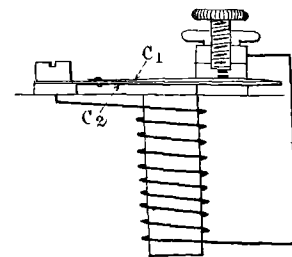
Vibreur Lacoste sans la vis de réglage.
la lame supérieure C_1 est cintrée.



Vibreur Lacoste au repos.
La lame inférieure plaque la
lame supérieure contre la vis
de réglage.



Vibreur Lacoste en action.
Le courant s'établit, la lame
inférieure C_2 est attirée, mais la lame
supérieure C_1 est encore au contact
de la vis.



Vibreur Lacoste en action:
La lame inférieure C_2 a continué son
mouvement, entraînant la lame
supérieure et le contact est rompu au
moment où la lame inférieure est en
pleine vitesse.

(Locomotion. 3^e Année - N° 75. p. 151) Fig. 95.

course de la lame C_2 qui correspond à la rupture du circuit primaire, a été réglée par le constructeur de telle façon que le courant d'inducteur acquiesce avant sa rupture son intensité de régime.

Schémas d'allumage.

Nous avons donné dans ce qui précède des schémas d'allumage pour moteurs monocylindriques. Les figures 96 et 97 représentent des schémas d'allumage pour les moteurs à deux cylindres et pour les moteurs à quatre cylindres. La figure 96 représente en somme la superposition de deux allumages pour moteurs monocylindriques; cet allumage comprend en effet 2 bobines d'induction complètes. Les connexions sont d'ailleurs établies de telle façon, qu'il éclate une étincelle par chaque tour du moteur. Dans la figure 97, on a 4 bobines d'induction avec un seul trembleur T et un seul condensateur C . Les connexions sont établies de telle façon qu'il éclate une étincelle par course du piston; en effet, les frotteurs K_1, K_2, K_3, K_4 sont disposés de telle façon

2 Cylindres, 2 Bobines avec
2 trembleurs et 2 Condensateurs.
1 Étincelle par tour de l'arbre du moteur.

- A. Bougie.
- P. Enroulement primaire.
- S. Enroulement secondaire.
- C. Condensateur.
- E. Source de courant primaire.
- K. Contact frotteur.
- M. Masse.

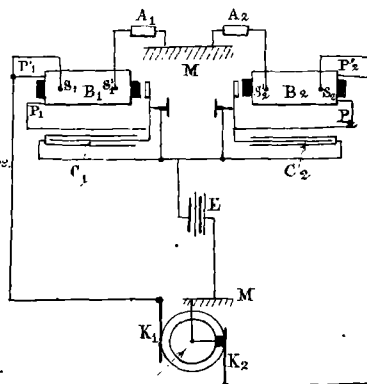


Fig. 96.

Contact frotteur monté sur un axe qui fait un tour quand l'arbre du moteur en fait deux

Schéma d'allumage pour moteur à 2 Cylindres.

4 Cylindres, 4 Bobines avec
1 seul trembleur et un seul Condensateur.
1 Étincelle par Course du piston.

- A. Bougie.
- P. Enroulement primaire.
- S. Enroulement secondaire.
- C. Condensateur unique.
- T. Trembleur unique.
- K. Frotteur.
- M. Masse.
- E. Source de courant.

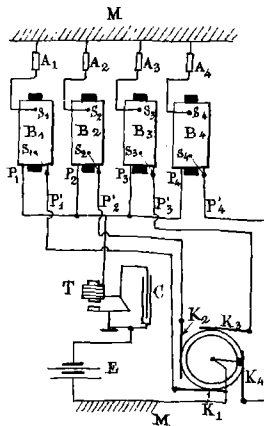


Fig. 97.

Schéma d'allumage pour moteur à 4 Cylindres.

(Génie civil. 23^e Année. T. 42. 21 Février 1903. p. 266.)

que deux contacts successifs fassent entre'eux un angle égal à $\frac{\pi}{2}$; comme l'axe qui porte la pièce conductrice qui vient toucher les frotteurs ne fait qu'un tour pendant que l'arbre de la machine en fait deux, la rotation de l'angle $\frac{\pi}{2}$ de cet axe correspond à une rotation de l'angle π de l'arbre de la machine et par suite à une course du piston du moteur. Nous verrons plus loin un schéma d'allumage pour moteur de 8 cylindres, appliqué récemment par la maison Charron, Girardot et Voigt, dans le moteur qu'elle se propose d'appliquer à la traction d'une voiture de course sans changement de vitesse, voiture qui doit prendre part à l'épreuve Paris-Madrid.

Bougie d'allumage.

Nous venons de voir comment on produit les variations de l'intensité du courant inducteur. On fait jaillir l'étincelle du secondaire, à l'intérieur du cylindre, entre les extrémités des deux fils métalliques isolés l'un de l'autre et en communication avec l'induit à fil fin de la bobine d'induction. C'est ce qu'on appelle la Bougie d'allumage.

Le principe en est le suivant (Fig. 98). Une masse cylindrique M en matière isolante traverse la paroi du cylindre C au niveau de la chambre de compression et est percée, parallèlement à son axe, de deux trous dans lesquels sont engagés les fils F et F' en relation avec le secondaire de la bobine d'induction; les extrémités libres de ces fils dépassent légèrement, à

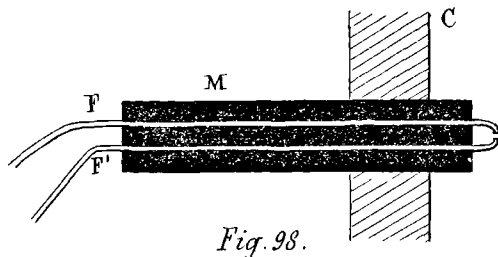


Fig. 98.

Principe d'une bougie d'allumage électrique. (G. Coupan. Bulletin de la Société des Agriculteurs de France. 1^{er} Juin 1902 p. 599).

l'intérieur du cylindre, la masse isolante et aboutissent à un ou deux millimètres l'un de l'autre. La matière isolante constituant la bougie est ordinairement de la porcelaine.

Pratiquement il est inutile de loger les deux fils à l'intérieur

de la bougie; on se borne à n'y en faire passer qu'un seul; l'autre fil est fixé extérieurement au cylindre de porcelaine, sur la douille métallique qui sert à visser la bougie à la paroi de la chambre d'explosion (Fig. 99).

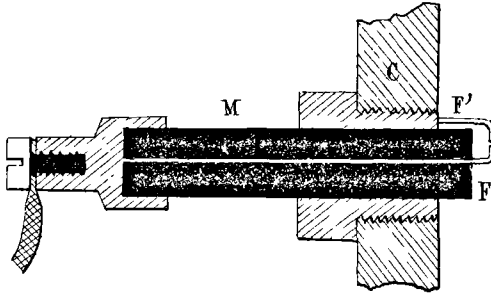


Fig. 99.

Bougie d'allumage.

(G. Coupan, Bulletin de la Société des
Agriculteurs de France, 1^{er} Juin 1902, p. 600).

Si nous nous reportons à la figure représentant le schéma d'allumage avec bobine sans trembleur, nous voyons que les deux extrémités du fil du secondaire aboutissent aux bornes c et e; la borne e est en relation par le fil 6 avec le conducteur intérieur x de la bougie et la borne c est en communication avec la masse du moteur par le fil 7. Dans la figure du schéma d'allumage à bobine avec trembleur, les deux extrémités du secondaire aboutissent, d'une part à une borne e, d'autre part à la plaque métallique p; celle-ci est en relation par le fil 9 avec la masse du moteur, tandis que le fil intérieur x de la bougie communique par le fil 7 avec la borne e.

Les figures 100 à 104 représentent divers types de bougies d'allumage. Dans toutes ces bougies, x est l'extrémité du fil intérieur et y est l'extrémité reliée à la masse du moteur. Les bougies Bassée et Michel (Fig. 101) et Holden (Fig. 102) présentent cette particularité que la partie conductrice y, en relation avec la masse du moteur, est formée par un anneau métallique qui entoure la pointe x; ce dispositif est employé pour donner un plus grand volume à l'étincelle qui éclate dans le moteur. La bougie Reclus (Fig. 103) a été combinée en vue d'éviter

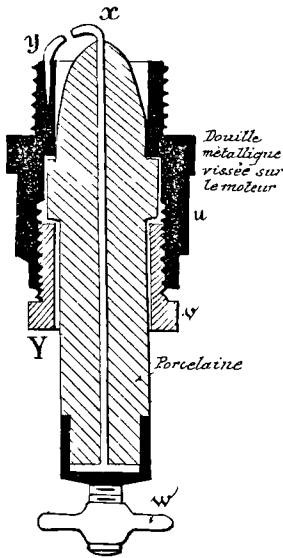


Fig. 100.
Bougie d'allumage
de Dion-Bouton.

aux ratés produits par les variations d'écartement des pointes (forées notamment à la dilatation dont elles sont l'objet) et à la rupture de la porcelaine. Pour parer aux premières, la tige centrale se termine, non plus en pointe, mais par une pièce massive en forme d'obus, qui permet à l'étrécissement d'éclater en un point quelconque de sa périphérie. Afin d'éviter la rupture de la porcelaine, celle-ci n'est plus serrée contre le culot par un boulon; elle est soudée dans sa chemise métallique par un ciment spécial destiné à éviter ainsi toute fuite.

La porcelaine se casse d'habitude parce que

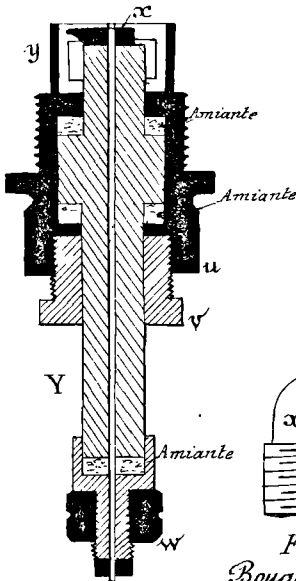


Fig. 101.
Bougie d'allumage
Bassée et Michel.

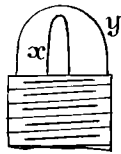


Fig. 102.
Bougie d'allumage
du major Holden

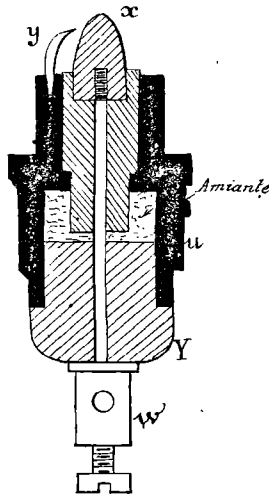


Fig. 103.
Bougie d'allumage
de Reclus

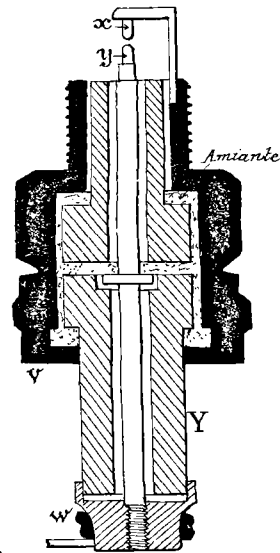


Fig. 104.
Bougie d'allumage
de Bisson et Berger

(Worby-Beaumont. Motor Vehicles and Motors)

L'un de ses bouts est porté à une haute température tandis que l'autre est refroidi par l'air extérieur. Dans la bougie à hélice Bisson et Berger ou bougie à hélice (Fig. 104) la porcelaine est en deux parties séparées par une rondelle calorifuge en amiante. Cette bougie tire son nom de ce que le fil du circuit est serré sur sa borne, non plus par un écrou, qui exerce sa torsion sur la porcelaine et la rend plus fragile, mais par une hélice qui entoure la borne.

Enfin, dans la bougie P.M., la porcelaine est remplacée par du mica. La tige centrale isolée est un boulon d'acier recouvert de feuilles de mica enroulées; des disques de mica, percés au centre, sont ensuite empilés sur le tout afin de donner le diamètre convenable; enfin le tout est fortement serré par des écrous. L'ensemble forme un bloc très isolant et indifférent aux variations de température comme aux températures.

Allumage par
circuit interrompu.

Dans ce qui précède, nous avons supposé que le fil du secondaire était relié directement au fil central de la bougie. Dans ces conditions si, par suite de la décomposition par la chaleur d'huile introduite dans la chambre de combustion du moteur, un filament de charbon, conducteur de l'électricité, vient à relier les deux parties x et y entre lesquelles les étincelles éclatent, ces dernières ne se produisent plus, le circuit secondaire étant fermé sur lui-même. On dit alors que la bougie est encrassée.

Supposons que la bougie soit encrassée, et au lieu de relier immédiatement le fil du secondaire de la bobine au conducteur central de la bougie, attachons-le à une distance de 1 à 2 $\frac{m}{m}$ de la tête, de telle sorte qu'il y ait une solution de continuité dans le courant, nous observons le phénomène suivant.

Aussitôt que le courant secondaire prend naissance, on aperçoit à la fois des étincelles entre le secondaire et la tête de la

bougie et dans le moteur entre les deux conducteurs de cette bougie. L'allumage électrique par étincelle fonctionne malgré l'encrassement de la bougie.

M. M. Chauvin et Arnoux ont donné à cette expérience une forme élégante qui va nous conduire à l'explication du fait précédent.⁽¹⁾

Deux bougies B_1 et B_2 , isolées, (Fig. 105) sont reliées entre elles en tension et au secondaire d'une bobine d'induction, comme le montre la figure. Les deux pointes a et b de la bougie B_1 sont isolées l'une de

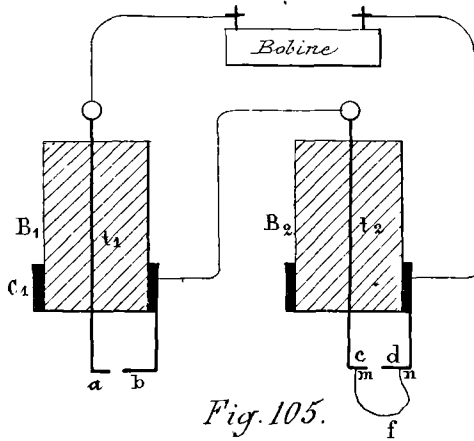


Fig. 105.

l'autre; les deux pointes c et d de la bougie B_2 sont reliées par un fil conducteur mfn (Dans l'expérience de M. M. Chauvin et Arnoux, ce fil conducteur est constitué par un fort trait de crayon allant de la partie filetée à la pointe centrale). Si on fait éclater des étincelles entre a et b , on voit des étincelles éclater également

entre les pointes c et d ; mais si on établit un court circuit entre a et b , les étincelles cessent d'éclater entre c et d , le courant secondaire se fermant par le fil mfn .

Propriétés générales des circuits parcourus par des courants alternatifs de grande fréquence.

On peut donner de ce phénomène une théorie qui rende compte de tous les faits observés en partant des propriétés générales des circuits parcourus par des courants alternatifs de grande fréquence.

⁽¹⁾ Diverses explications très ingénieuses ont été données de ce fait, mais aucune d'elles ne me semble rendre compte du phénomène dans tous ses détails. Voir pour ces explications:

Un curieux cas d'allumage (Locomotion. 3^e année. N° 67; p. 31 — 3^e année, N° 68; p. 34 — 3^e année, N° 70; p. 71)

Un circuit est parcouru par un courant alternatif de période T lorsque, à deux instants t et $t+T$, le courant possède la même intensité et la même direction. Si le courant a N périodes par seconde, le produit $N \times T$ de ce nombre de périodes par la période elle-même étant égal à 1, le quotient $\frac{1}{T}$ est égal à N . Ce nombre N reçoit le nom de fréquence du courant alternatif. Plus la fréquence d'un courant alternatif est grande, plus sa période est petite et inversement.

Ceci posé, considérons un fil plein, de longueur l et de section S , parcouru par un courant continu. La résistance que ce fil oppose au passage du courant est proportionnelle à sa longueur et en raison inverse de sa section; un fil est d'autant plus résistant qu'il est plus long et plus fin; un gros fil, de faible longueur, n'a qu'une résistance très faible. Si nous réduisons la section d'un fil, nous augmentons sa résistance. Un moyen d'arriver à ce résultat consiste à évider le fil, à enlever la matière centrale, à transformer le fil en un tube; un tube métallique oppose au passage d'un courant continu une résistance qui dépend non plus de la section totale du tube, mais de la section des parois.

Lorsqu'un courant continu circule dans un fil plein, toute la matière du fil, aussi bien la partie centrale que la partie avoisinant la surface extérieure, concourt à la propagation de ce courant.

Il n'en est plus de même quand ce fil est parcouru par un courant alternatif. Voici alors ce qui se passe.

Tant que la fréquence du courant est faible, la propagation du courant alternatif se fait comme celle du courant continu par toute la matière du fil. Mais lorsque la fréquence du courant augmente, la partie centrale du fil cesse d'être parcourue par le courant; la propagation se fait uniquement dans la couche annulaire qui avoisine la surface extérieure du fil; l'épaisseur de cette couche

va en diminuant à mesure que la fréquence va en augmentant. Tout se passe comme si le fil était transformé en un tube dont l'épaisseur des parois va en décroissant à mesure que la fréquence du courant augmente. Or un tel tube dont les parois diminuent d'épaisseur oppose au passage du courant une résistance croissante.

On peut donc dire que, si la fréquence du courant devient suffisamment grande, la propagation de ce courant se fait presque uniquement par la surface extérieure du fil, qui oppose alors une résistance très considérable.

Si l'on prend un fil de cuivre, l'épaisseur e , comptée à partir de la surface, représentant la partie du métal qui participe seule à la propagation du courant, présente les valeurs suivantes en fonction de la fréquence N . ⁽¹⁾

Fréquence N
du courant alternatif.

Épaisseur e de la matière du fil
à partir de laquelle l'intensité du courant
qui se propage est négligeable.

1
100
10.000
1.000.000
100.000.000
10.000.000.000

44 centimètres.
4,4
0,44
0,044
0,0044
0,00044.

(1) L'épaisseur E pour laquelle l'intensité du courant est réduite à la n^{me} partie de sa valeur sur la surface est:

$$E^{\text{cent.}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{T}{\mu c}} \log \text{ nép. } n$$

formule dans laquelle μ est la perméabilité du milieu dans lequel se propage le courant; c est la conductibilité spécifique du milieu, T est la durée de la période du courant alternatif.

Si le milieu qui propage le courant est du cuivre, on a $\mu = 1$ $c = \frac{1}{1600}$ $2\pi\sqrt{c} = \frac{2\pi}{40} = 0,1571$

$$E = \frac{\log \text{ nép. } n}{0,1571} \sqrt{T} = \frac{2,30258 \log \text{ nép. } n}{0,1571} \sqrt{T}$$

L'épaisseur e en centimètres, pour laquelle $n=1000$, c'est à dire pour laquelle l'intensité du courant est réduite à la 1000^{ème} partie de sa valeur sur la surface, est:

$$e = \frac{6,9078}{0,1571} \sqrt{T} = 44 \sqrt{T} \text{ centimètres} = \frac{44}{\sqrt{N}} \text{ centimètres.}$$

C'est au moyen de cette formule que nous avons calculé les nombres indiqués plus haut.

Si donc on prend un fil de cuivre ordinaire dont le diamètre est d'environ 1 mm , il faut que la fréquence du courant soit au moins égale à 1.000.000 pour que les phénomènes que nous venons de mentionner puissent être mis en évidence. Dans ce cas, la résistance que ce fil oppose au passage du courant est environ 4,5 fois plus grande que celle qu'il opposerait au passage d'un courant continu; cette résistance devient 40 fois plus grande si la fréquence du courant devient égale à 100.000.000. ⁽¹⁾

Dispositif permettant d'obtenir des courants alternatifs de haute fréquence. Comment allons-nous obtenir des courants alternatifs dont la fréquence est voisine de la valeur précédente?

Considérons une bobine d'induction; si nous faisons parcourir le circuit primaire par des courants alternatifs de période T , le circuit secondaire est parcouru par des courants d'induction alternatifs ayant la même période. Or, quel que soit l'interrupteur employé, il n'est pas possible de produire dans le primaire et par suite dans le secondaire un alternatif dont la fréquence soit supérieure à 1000. Avec une telle fréquence,

(1) Si R est la résistance ohmique du conducteur de diamètre $2a$ centimètres, de perméabilité magnétique μ et de conductibilité spécifique C traversé par un courant alternatif de période T et si R_0 est la résistance du même conducteur parcouru par un courant continu, la théorie de lord Kelvin donne :

$$\frac{R}{R_0} = 0,35355 \left(2\pi a \sqrt{\frac{2\mu C}{T}} + 0,75 \right) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{(Voir Mascart et Joubert. Leçons} \\ \text{sur l'Electricité et le Magnétisme} \\ \text{6.1. p. 721).} \end{array} \right.$$

Dans le cas du cuivre pur, on a : $\mu = 1$ $C = \frac{1}{1600}$ $2\pi a \sqrt{\frac{2\mu C}{T}} = \frac{2a}{\sqrt{T}} \cdot \frac{2\pi\sqrt{C}}{\sqrt{2}} = \frac{2a}{9\sqrt{T}}$

et par suite : $\frac{R}{R_0} = \frac{\sqrt{2}}{2} \left(\frac{a}{9\sqrt{T}} + \frac{3}{8} \right) = 0,7071 \left(\frac{a}{9\sqrt{T}} + 0,375 \right)$, formule qui, pour une

fréquence donnée, n'est applicable (c'est à dire qu'elle donne $R > R_0$) qu'à partir d'une certaine valeur du diamètre $2a$.

Si $T = 25$, il faut que le diamètre $2a$ du conducteur soit égal à 8,8 centimètres pour que la variation de résistance soit appréciable. Avec des conducteurs plus minces, la variation de résistance est insensible. Pour les courants téléphoniques, la fréquence moyenne est d'environ 400 et l'épaisseur limite e est 2,2 cent. Les conducteurs ayant toujours un diamètre beaucoup moindre, la distribution des courants vers la surface n'intervient encore que pour une faible part dans le phénomène.

il faudrait un conducteur de cuivre dont le rayon serait, au moins de 1 cent. pour pouvoir mettre en évidence les phénomènes que nous avons décrits; quand un fil dont le diamètre est inférieur à 1 centimètre est parcouru par ces courants, il n'oppose pas à leur propagation une résistance proprement dite supérieure à celle qu'il leur opposerait si ces courants étaient continus.

Pour obtenir des courants alternatifs de très haute fréquence, il faut s'adresser à la décharge des condensateurs.

Prenez deux corps conducteurs, par exemple deux plaques métalliques, et séparez-les par un corps isolant tel que du verre, de la paraffine etc..... Nous constituons alors un condensateur dont les deux conducteurs sont les armatures. On charge un condensateur en reliant ses armatures soit aux deux pôles d'une pile ou d'un accumulateur, soit aux deux bornes du secondaire, d'une bobine d'induction.

Ceci posé, faisons les deux expériences suivantes.

1^{re} expérience. - Chargeons un condensateur avec le courant secondaire d'une bobine d'induction (Fig. 106).

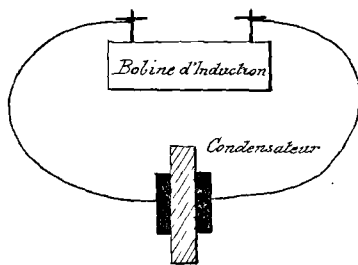


Fig. 106.

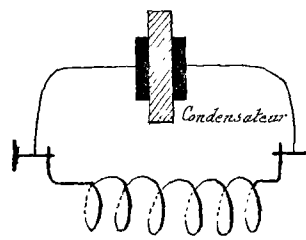


Fig. 107

Circuit présentant de la Self - Induction.

2^{me} expérience - Relions les deux armatures du condensateur chargé par un circuit comprenant une bobine c'est à dire par un circuit présentant de la self-induction (Fig. 107). Ce circuit est parcouru

par un courant dû à la décharge du condensateur. Si la résistance du circuit sur lequel est fermé le condensateur possède une résistance électrique, une self-induction convenables, et si la capacité du condensateur a été bien choisie, le courant produit est un courant alternatif et la décharge est dite oscillante. ⁽¹⁾

Or, ce courant alternatif possède la propriété remarquable d'avoir, quand on le place dans des conditions convenables, une très grande fréquence qui est au moins égale à 100.000.000 et dépasse souvent plusieurs trillions.

Conséquence des propriétés des courants alternatifs de grande fréquence. Les propriétés des circuits parcourus par des courants de haute fréquence nous conduisent alors aux

(1) Si R est la résistance du circuit, qui relie les 2 armatures du condensateur, il faut pour que la décharge soit oscillante, que l'on ait :

$$R^2 < \frac{4L}{C}$$

en appelant L le coefficient de self-induction de la bobine et C la capacité du condensateur. On voit donc que si le circuit a une résistance R qui est faible (c'est à dire s'il est formé de gros fil), il faut, pour que la décharge soit oscillante, que la self-induction de la bobine soit grande (c'est à dire que cette bobine soit formée d'un grand nombre de tours de fil) et que la capacité du condensateur soit faible.

La fréquence de ce courant alternatif est donnée par la formule :

$$N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4L - CR^2}{4L^2C}}$$

ou si la résistance R est petite, on peut négliger, en présence de 4L, le terme CR², et la fréquence est donnée par la formule :

$$N = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

On voit donc que la fréquence varie en raison inverse de la racine carrée du produit LC, lorsque le circuit, qui relie les deux armatures du condensateur a une faible résistance. Pour obtenir une fréquence de 100.000.000 ou de 10⁸, il faut, que le produit LC soit très petit, de l'ordre de $\frac{1}{4\pi^2 \times 10^{16}}$ ou $\frac{1}{36 \times 10^{16}}$; il convient donc, pour avoir une décharge oscillante de cette fréquence, d'avoir un circuit de résistance très faible. On emploie généralement du gros fil de cuivre dont le diamètre est d'environ 7 millimètres.

conclusions suivantes qui nous donnent la théorie du phénomène décrit au début de cette étude.

Réunissons les deux armatures du condensateur (Fig. 108) par un très gros fil (7^{m} de diam. environ) contourné de manière à former un certain nombre de spires (15 à 20); entre deux points A et B de ce gros fil, mettons en dérivation un fil fin f .

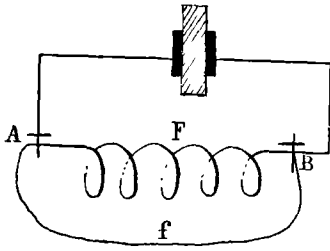


Fig. 108.

Supposons que le courant produit par la décharge du condensateur soit un courant alternatif de fréquence N . Si le nombre N est inférieur à 1.000.000, le système des fils AFB et AfB se comporte comme s'il était parcouru par un courant continu; or le fil AFB étant très gros, constitue pour les courants continus un court-circuit entre les points A et B. Le courant alternatif de fréquence inférieure à 1.000.000 suivra donc le fil AFB comme le ferait un courant continu.

Mais admettons que la fréquence augmente de manière à atteindre des valeurs égales ou supérieures à 100.000.000. Le courant alternatif, au lieu de parcourir la masse entière du fil, ne se propage que dans une couche superficielle, d'autant moins épaisse que la fréquence est plus grande; en même temps la résistance du fil F au passage du courant va en augmentant de plus en plus. Au contraire, le fil f étant très fin se comporte, au point de vue de la résistance qu'il oppose au passage du courant alternatif, comme si celui-ci était continu.

Il résulte immédiatement de là qu'à partir d'une certaine valeur de la fréquence N , le fil F va devenir beaucoup plus résistant que le fil f ; le courant alternatif cessera de passer par le gros fil F pour passer par le fil fin f . Si, sur le parcours du fil fin, se trouvent des lampes à incandescence, ces lampes brilleront alors qu'elles ne s'allumeraient

jamais si le circuit du condensateur était parcouru par un courant continu. Si le fil f , au lieu d'être continu, est interrompu en l'un de ses points et présente un petit intervalle d'air, des étincelles éclatent entre les deux extrémités voisines du fil f aussitôt que la fréquence N devient suffisamment grande.

Expérience
d'Elihu Thomson.

On peut disposer l'expérience comme l'indique la figure 109. Le courant secondaire de la bobine d'induction charge le condensateur qui se décharge dans le circuit contenant la bobine à gros fil

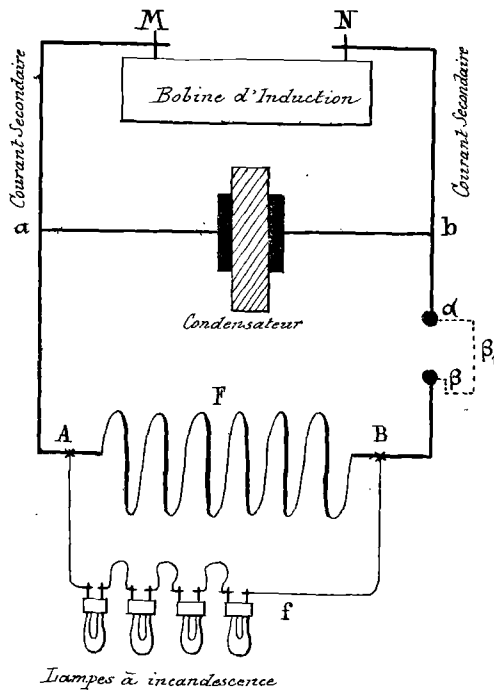


Fig. 109.

AFB (15 à 20 tours de gros fil de cuivre d'à peu près $7\frac{m}{m}$ de diam.; les spires de la bobine ont un diamètre de 16 centimètres et sa résistance est d'environ $\frac{1}{100}$ ohm), en produisant des étincelles entre les points α et β .

Si on réunit en court-circuit les points α et β par le fil $\beta\beta_1\alpha_1$, le courant secondaire de la bobine d'induction ne charge pas le condensateur et parcourt le circuit total $MaAFB\beta\beta_1\alpha_1N$; la fréquence N de ce courant étant faible, ce courant ne passe pas dans le fil f et les lampes ne brillent pas.

brillent pas.

Au contraire, si on isole les 2 points α et β , des étincelles éclatent entre α et β , la fréquence du courant de décharge du condensateur devient assez grande pour que le fil F oppose au passage de ce courant une résistance plus grande que le fil f ; dans ces conditions, les

Lampes d'allumement.

L'expérience citée au début de cette étude et faite par M. M. Chauvin et Aernoux avec deux bobines d'allumage (Fig. 105) n'est qu'une variante de cette expérience d'Elihu Thomson.

La bougie B_1 représente le condensateur de l'expérience précédente; ses armatures sont le fil t_2 et la monture métallique C_1 ; l'interruption $\alpha\beta$ n'est autre que l'interruption ab qui existe entre les deux extrémités a et b . La résistance du fil F est constituée par le fil f et la résistance f par la résistance de l'espace d'air compris entre les pointes C et d .

Lorsqu'on établit un court-circuit entre les deux pointes a et b , on constitue avec le secondaire de la bobine d'allumage et la bougie B_2 dont les armatures sont reliées par le fil conducteur f , un circuit parcouru par des courants alternatifs dont la fréquence ne dépasse pas 1000. Ce circuit n'oppose pas au passage du courant une résistance plus grande, que si le courant était continu; en particulier le fil f oppose au passage du courant, une résistance beaucoup moins grande que l'intervalle d'air compris entre les deux pointes C et d de la bougie B_2 . Le courant passe par le fil f et aucune étincelle n'éclate entre les pointes C et d . C'est le cas où, la bougie B_2 étant encrassée; le secondaire de la bobine d'induction est relié directement à la tête de cette bougie. Mais supprimons la communication qui existe entre les pointes a et b de la bougie B_1 . Celle-ci joue alors le rôle d'un condensateur qui, chargé par le secondaire de la bobine, se décharge dans le circuit formé par ce secondaire, par le conducteur t_2 et par le fil f . Cette décharge donne naissance à un courant de haute fréquence. Le fil f oppose au passage de ce courant une résistance plus grande que la lame d'air qui sépare les deux pointes C et d ; ce courant traverse alors cette lame d'air et des étincelles éclatent entre les deux pointes C et d .

Cette est, il me semble, l'explication que l'on peut donner du mode de relation que l'on a récemment établi entre le secondaire de la bobine d'allumage et la bougie.

Remarque.

On a fait à l'explication précédente l'objection suivante.

Lorsqu'on produit une seule interruption du courant primaire de la bobine d'induction, on donne naissance à une étincelle entre les 2 pointes de la bougie encrassée.⁽¹⁾

À cette objection, on peut répondre qu'il n'est pas nécessaire pour donner naissance à une décharge oscillante du condensateur, de produire une série de contacts et d'interruptions du circuit primaire. Pour s'en assurer, il suffit de remarquer que la fréquence du courant alternatif auquel donne lieu la décharge du condensateur est considérablement plus grande que celle du courant primaire de la bobine d'induction. Lorsqu'on produit une seule interruption du circuit primaire, le courant alternatif à haute fréquence, auquel donne naissance la décharge du condensateur est tel que son intensité tend rapidement vers zéro, ce qui n'a pas lieu lorsqu'on produit une série de contacts et

(1) L'allumage à fil secondaire interrompu. [articles, signés E.G. dans les N^{os} 3 et 4 (15 Février et 15 Mars 1903) du journal Le de Dion-Bouton publié récemment par la maison de Dion Bouton]. L'auteur de ces articles d'ailleurs intéressants, semble confondre la fréquence des courants primaire et secondaire de la bobine avec la fréquence du courant de décharge du condensateur; or celle-ci peut être, comme nous l'avons vu, plusieurs millions de fois plus grande que la première.

L'auteur a fait de très intéressantes expériences sur les couleurs des étincelles qui éclatent entre les deux pointes d'une bougie lorsqu'on produit ces étincelles dans un milieu dont on augmente la pression. Il a constaté que l'étincelle devient de plus en plus blanche à mesure que la pression s'élève. Or cet aspect même de l'étincelle montre que la décharge est certainement oscillante et de très courte période.

Ces expériences semblent vérifier cette proposition que dans l'air sous une pression de 8 kilogr. une étincelle dont la longueur est de l'ordre du millimètre, équivaut à une étincelle de 10 à 15^m/_m à la pression atmosphérique.

d'interruptions du circuit primaire.

Application du mode de connexion précédent.

Schéma d'allumage de la voiture de 45 ch[?]

à 8 cylindres Charon, Girardot et Voigt.

Ce mode de connexion, de la bougie d'allumage avec le circuit secondaire, de la bobine d'induction vient d'être appliqué par la maison Charon, Girardot et Voigt à son moteur à 8 cylindres monté sur la voiture de 40 ch[?] qui doit prendre part à l'épreuve Paris-Madrid. Ce moteur à 8 cylindres est, en réalité, formé de deux groupes de 4 cylindres avec un carter unique fixé au châssis par trois doubles bras. Le vilebrequin qui repose sur 5 paliers est, en réalité, formé de deux pièces. Chacune de celles-ci constitue un vilebrequin ordinaire dont les quatre mannetons sont dans un même plan et ces deux moitiés de l'arbre sont manchonnées entre elles de manière à faire l'une avec l'autre un angle droit. Par suite, chacune des deux moitiés du moteur se comporte comme un moteur à quatre cylindres ordinaire; les courses motrices dans un des groupes de succèdent sans jamais chevaucher l'une sur l'autre; mais le fait d'avoir calé à angle droit les deux moitiés de l'arbre manivelle est cause que tout ce qui se produit dans l'un des groupes de 4 cylindres se reproduit dans l'autre une demi-course plus tard. Le moteur se trouve donc 4 fois par tour dans la même situation au point de vue de la production de la force, et tous les quarts de tours se produit une explosion dans l'un ou l'autre des cylindres.

Pour produire cet allumage tous les quarts de tour de l'arbre, il faudrait en employant le système représenté dans les figures 97 et 98, huit bobines d'induction et une complication de fils qui rendrait très difficile leur isolement et multiplierait les pannes. Aussi les constructeurs ont-ils inventé le dispositif représenté dans la figure 110 et qui n'exige plus qu'une bobine.

Le courant venant de la pile ou de l'accumulateur va par l'interrupteur I au primaire P de la bobine d'induction B. De là, il

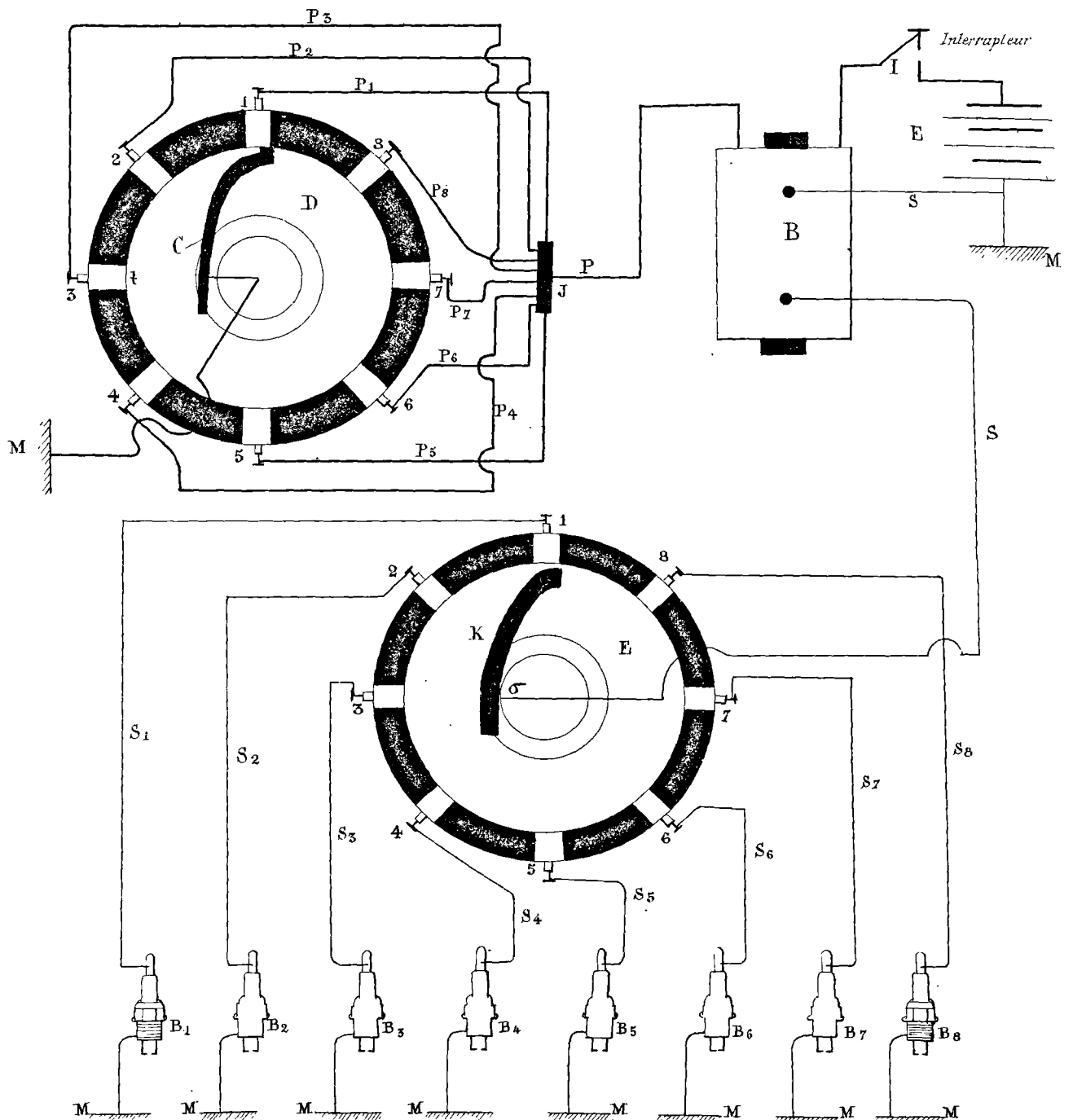


Fig. 110.

Schéma de l'allumage de la voiture de 40 chevaux à 8 cylindres.

Chatton, Girardot & Voigt.

se rend au distributeur D qui porte 8 touches conductrices t et retourne à la masse par le contact mobile C. Ce contact est mû par l'arbre de dédoublement; il ne fait donc, qu'un tour pendant que l'arbre du moteur en fait deux.

Il permet donc, tous les quarts de tour du moteur, la production d'un courant primaire, qui engendre le courant secondaire qu'il s'agit d'envoyer dans la bobine convenable. C'est là le rôle du deuxième distributeur E. Ce distributeur, dont le contact mobile K est entraîné aussi par l'arbre de dédoublement, porte comme le distributeur D autant de touches conductrices qu'il y a de bougies. Le distributeur E diffère du distributeur D en ce que le contact K ne vient pas frotter sur les touches t , mais s'en trouve chaque fois à une distance de 1 à 2 millim., de telle manière qu'une étincelle éclate entre la touche et le contact K, au moment où celui-ci se trouve en face d'une touche. Cette étincelle donne naissance à une étincelle éclatant entre les pointes de la bougie qui correspond à la touche en face de laquelle se trouve le contact K. On fait donc, comme on le voit, de l'allumage par circuit interrompu. Le schéma montre en même temps qu'on a résolu le problème de l'allumage d'un nombre quelconque de cylindres avec une seule bobine.

Générateurs électriques employés pour l'allumage. Pour terminer l'étude de l'allumage par étincelle d'induction, il nous reste à étudier les générateurs électriques qui fournissent le courant primaire. Ces générateurs sont les piles et les accumulateurs.

Élément de pile. Dans un vase de verre contenant de l'eau acidulée d'acide sulfurique, plongeons d'une part une lame de zinc pur et d'autre part une lame de cuivre; nous constatons que si nous réunissons par un fil conducteur la lame de zinc à la lame de cuivre, ce fil est parcouru par un courant. On convient de dire que dans le circuit

extérieur ce courant va de la lame de cuivre à la lame de zinc, on donne au point d'attache du fil extérieur avec la lame de cuivre le nom de pôle positif et au point d'attache du fil extérieur avec la lame de zinc le nom de pôle négatif.

L'ensemble formé par la lame de cuivre, la lame de zinc et l'acide sulfurique étendu constitue un élément de pile. Si on se représente un tel élément, on voit que, par convention, le courant allant dans le conducteur extérieur de la lame de cuivre à la lame de zinc, traverse l'eau acidulée de la lame de zinc à la lame de cuivre.

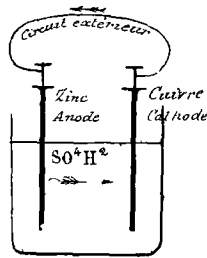
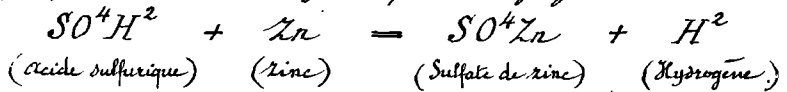


Fig. 111.

Aussi donne-t-on à la lame de zinc le nom d'Anode (Électrode d'entrée du courant dans l'élément de pile) et à la lame de cuivre le nom de Cathode (Électrode de sortie du courant). [Fig. 111].

La production du courant est accompagnée de la réaction chimique suivante. Sous l'action de l'acide sulfurique, le zinc se transforme en sulfate de zinc⁽¹⁾ qui se dissout dans l'eau acidulée et il y a production d'hydrogène qui se dégage sur la lame de cuivre.



Polarisation

D'un élément de pile. diminue très sensiblement quelques secondes après la fermeture du circuit. Cet affaiblissement est d'autant plus rapide que le circuit extérieur offre moins de résistance.

On exprime ce fait en disant que la pile s'est polarisée ou encore qu'il s'est produit dans le circuit de la pile un courant secondaire

(1) Le zinc pur plongé dans l'acide sulfurique étendu n'est pas attaqué tant que l'électrode zinc n'est pas reliée à l'électrode cuivre par un conducteur extérieur; on exprime ce fait en disant qu'en circuit ouvert, le zinc pur ne se dissout pas dans l'eau acidulée d'acide sulfurique. Il n'en est pas de même du zinc impur du commerce.

ou un courant de polarisation de sens inverse au courant principal.

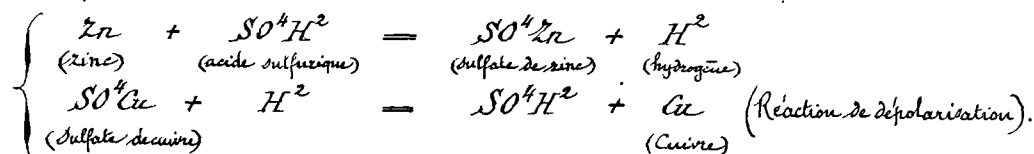
Ce courant de polarisation est dû ici au dépôt d'hydrogène effectué sur la lame de cuivre, dépôt d'hydrogène qui modifie la nature de cette électrode. Si, par un moyen quelconque, on vient à enlever cet hydrogène adhérent, on voit le courant reprendre son intensité première.

En général, une pile se polarise toutes les fois que, par suite des réactions qui s'y produisent, la nature des électrodes se trouve modifiée.

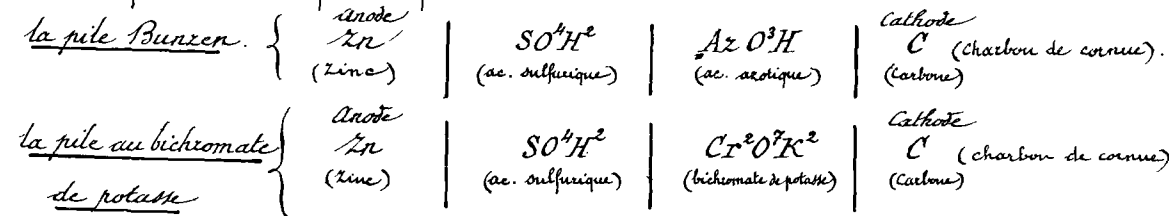
Dépolarisants.

Les substances qui permettent d'annuler le courant de polarisation sont appelées des dépolarisants. Dans la pile (Zn. - Eau acidulée - Cuivre) le dépolarisant employé est une dissolution de sulfate de cuivre dans laquelle on plonge la lame de cuivre; c'est ainsi qu'est constituée la pile de Daniell. ⁽¹⁾

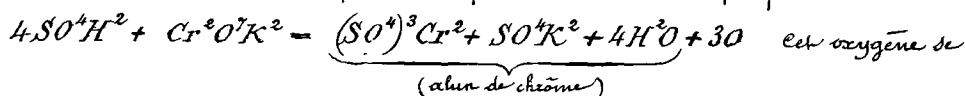
⁽¹⁾ La pile Daniell est le type des piles dites à deux liquides. Les réactions, qui se produisent dans cette pile peuvent être représentées par les deux équations:



Les autres piles à deux liquides les plus connues sont:



Dans ces éléments de pile, la solution de bichromate de potasse est faite dans l'acide sulfurique étendu.



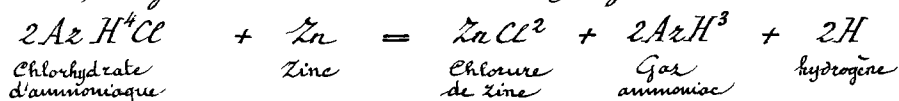
Combine avec l'hydrogène provenant de la réaction de SO⁴H² sur Zn.



Pile Leclanché.

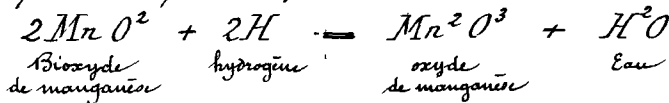
La pile d'allumage ne s'écarte pas, du moins pour les modèles actuellement dans le commerce, du type connu sous le nom de Pile Leclanché'. Dans cette pile, les électrodes sont constituées, l'anode par du zinc pur ou par du zinc amalgamé, ⁽¹⁾ la cathode par du charbon de cornue ou du charbon aggloméré. Le dépolarisant employé est un corps solide: le bioxyde de manganèse. L'électrolyte est une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque ou, dans les modèles les plus récents, une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque et de chlorure de zinc.

Quand on ferme le circuit de la pile, il se fait entre le zinc et le chlorhydrate d'ammoniaque une réaction qui donne naissance à du chlorure de zinc, du gaz ammoniac et de l'hydrogène.



Le gaz ammoniac peut se dissoudre en partie ou se dégager à l'état gazeux.

Quant à l'hydrogène, si le bioxyde de manganèse n'existait pas autour de l'électrode en charbon il se dégagerait sur cette électrode, formerait à sa surface une gaine gazeuse et la pile se polariserait. Mais l'hydrogène produit dans la réaction, réduit le bioxyde de manganèse et ne vient pas au contact de la lame de charbon de cornue. Cette réaction est représentée par la formule :



Il ne convient pas, comme on le faisait autrefois, de placer dans un vase poreux un morceau de charbon de cornue autour duquel on tasse du bioxyde de manganèse pulvérisé.

⁽¹⁾ Le zinc amalgamé, c'est-à-dire combiné superficiellement avec du mercure, jouit des mêmes propriétés que le zinc pur, de ne pas se dissoudre en circuit ouvert.

En effet, le mélange d'oxydes de manganèse qui se forme par suite de la réduction du bioxyde crée dans l'élément de pile une petite résistance intérieure et diminue l'intensité du courant. Pour contrebalancer cette augmentation de résistance, on mélange le bioxyde de manganèse avec une variété très conductrice de charbon, le graphite ou plombagine. Avec 55 parties de plombagine, 40 de bioxyde de manganèse et 5 de gomme laque, on fait un aggloméré en tous points semblable à une briquette de charbon; l'électrode positive est formée d'une lame de charbon de cornue placée entre deux plaques de cet aggloméré.

Piles applicables à l'allumage
des moteurs d'automobiles.

Pour rendre cette pile applicable à l'allumage en automobile, il convient de supprimer tout ce qui peut craindre une détérioration par choc, c'est à dire le vase de verre ou de porcelaine et le vase poreux.

L'emploi des briquettes d'aggloméré que nous venons de décrire supprime l'emploi du vase poreux, que l'on peut remplacer par un simple sac en toile.

Le vase de verre est avantageusement remplacé par une boîte en zinc qui constitue elle-même l'électrode négative. Cette solution présente toutefois l'inconvénient d'augmenter le poids du zinc et le prix de revient de la pile, car la quantité de métal à employer pour que l'enveloppe soit suffisamment résistante, est bien supérieure à celle qui est nécessaire par le fonctionnement de l'élément. Ce vase de zinc est contenu dans une gaine en caoutchouc qui sert d'isolant.

Enfin, il faut immobiliser le liquide électrolytique de telle façon que les chocs ou soubresauts n'aient aucune action sur lui. Diverses solutions sont possibles.

1° - Obturation parfaite de la boîte par un couvercle muni d'une fermeture plus ou moins compliquée.

2° - Immobilisation du liquide obtenu en mélangeant ce liquide avec

Élément à liquide
immobilisé.

une dissolution d'un corps qui se prend en masse.

On emploie souvent à cet effet une dissolution d'agar-agar (sorte d'algue qu'on trouve dans les pays orientaux); cette dissolution, appelée gélatine végétale, se prend par le refroidissement en une gelée solide et élastique. On a ainsi les éléments dits à liquide immobilisé.

Pile sèche.

3^e - Immobiliser le liquide en le faisant absorber par un corps ne jouant, bien entendu, aucun rôle au point de vue chimique.

On emploie à cet effet la sciure de bois ou le plâtre. Ces éléments sont appelés éléments secs.

Quelle que soit la solution adoptée, l'élément de pile doit être recouvert à la partie supérieure d'une cire fondant à une température suffisamment élevée pour qu'elle ne puisse se ramollir par les plus fortes chaleurs. Cette fermeture est percée de deux légères ouvertures permettant au gaz prenant naissance dans la réaction de s'échapper librement. Si l'on n'avait pas soin de prendre, cette précaution, la pression intérieure développée par les gaz pourrait être suffisante pour briser la sciure, déformer ou désouder la boîte de zinc.

Pour alimenter le circuit primaire des bobines d'induction employées en automobilisme, on emploie généralement quatre éléments Leclanché, montés en tension c'est à dire de telle façon que l'anode de l'un soit reliée à la cathode de l'autre.⁽¹⁾

Groupement des éléments de pile

Nous venons d'indiquer un mode de groupement des éléments de pile. On peut les associer de deux manières différentes:

1^o - En série ou en tension.

(1) Pour les détails sur la construction et les pannes provoquées par les piles d'allumage, voir: Léon Guillet. Les Piles d'allumage; la batterie de piles pour l'allumage (Les Petites Annales illustrées du cycle et de l'automobile. 6^{me} année. N^{os} 261, 262, 265).

V. Baudry de Saunier. Les Recettes du Chauffeur p. 162, à 167 (Paris - Dunod).

L'anode de l'un des éléments est reliée à la cathode d'un autre élément, comme le montre la figure 112.

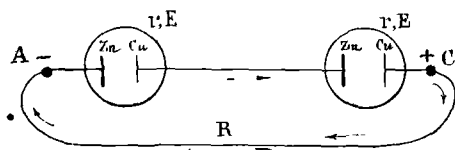


Fig. 112.

On démontre que si I est l'intensité du courant qui parcourt le circuit précédent, on a la formule:

$$I = \frac{nE}{n\Gamma + R}$$

en désignant, par E , la force électromotrice d'un élément de pile;

Γ , la résistance intérieure — id. —;

R , la résistance du circuit extérieur CAB.

On voit que si la résistance extérieure R est négligeable par rapport à la résistance $n\Gamma$ (somme des résistances intérieures des éléments de pile) on a :

$$I = \frac{nE}{n\Gamma} = \frac{E}{\Gamma}$$

L'intensité du courant est sensiblement la même que s'il n'y avait qu'un élément de pile dans le circuit.

2° - En dérivation ou en Quantité ou en Surface.

Les anodes sont reliées entre elles; il en est de même des cathodes (Fig. 113)

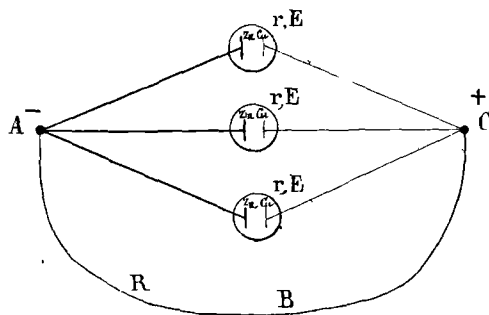


Fig. 113.

On démontre que tout se passe comme si on avait un seul élément de force électromotrice E et de résistance intérieure $\frac{\Gamma}{n}$. L'intensité I du courant qui passe dans le circuit extérieur est donc :

$$I = \frac{E}{\frac{\Gamma}{n} + R} = \frac{nE}{\Gamma + nR}$$

Quant à l'intensité i du courant qui passe dans chaque élément de pile, elle est donnée par la formule :

$$i = \frac{I}{n} = \frac{E}{\Gamma + nR}$$

Soient maintenant n éléments répartis en q groupes associés en quantité, chaque groupe étant composé de t éléments associés en tension. Chaque groupe de t éléments se comporte comme une pile de force électromotrice tE et de résistance intérieure tR . Si nous associons ces groupes en quantité, nous aurons une pile de force électromotrice tqE et de résistance intérieure $\frac{tR}{q}$. Le courant qui traverse le circuit extérieur aura pour intensité :

$$I = \frac{tE}{\frac{tR}{q} + R} = \frac{tqE}{tR + qR} = \frac{nE}{tR + qR} \text{ puisque } tq = n.$$

Comme application des formules précédentes, supposons que nous voulions alimenter une lampe à incandescence exigeant une force électromotrice de 25 volts et une intensité de 3,8 ampères, à l'aide d'éléments de pile ayant pour constantes :

$$E = 1,47 \text{ volt} \quad R = 0,6 \text{ ohm},$$

et proposons-nous de chercher le nombre d'éléments nécessaire et le groupement qu'il faudra adopter.

La résistance de la lampe, c'est à dire du circuit extérieur, est :

$$\frac{25}{3,8} = 6,58 \text{ ohms. On a donc l'équation :}$$

$$3,8 = \frac{tq \times 1,47}{t \times 0,6 + q \times 6,58}$$

Pour les éléments dont il s'agit, on peut admettre 1,2 ampère comme débit pratique maximum. On voit donc qu'avec 4 groupes en quantité, le débit de 3,8 ampères dont nous avons besoin ne sera pas exagéré puisque l'intensité du courant circulant dans chaque groupe sera $\frac{3,8}{4} = 0,95$ ampère. Faisons $q = 4$ dans l'équation précédente, il vient :

$$3,8 = \frac{4t \times 1,47}{t \times 0,6 + 4 \times 6,58}$$

$$\text{d'où } t = 27,78.$$

Nous prendrons 4 groupes de 28 éléments associés en tension et nous les monterons en quantité. Le nombre total des éléments employés sera : $4 \times 28 = 112$.

Accumulateurs.

Principe.

Dans un vase *V* contenant 2 électrodes en platine *A* et *C* (Fig. 114) versons de l'eau acidulée d'acide sulfurique, par exemple. Dans ce vase, faisons passer un courant arrivant par l'électrode *A* à laquelle on donne, comme nous l'avons vu plus haut, le nom d'*anode* traversant l'électrolyte (eau acidulée) et sortant par l'électrode *C* appelée *cathode*. Le courant décompose l'acide sulfurique en donnant de l'hydrogène qui apparaît à la cathode et de l'oxygène qui se dégage à l'anode; si on recouvre les deux électrodes *A* et *C* par deux éprouvettes celles-ci se remplissent des deux gaz oxygène et hydrogène.

Inversement, interrompons le courant qui a produit la décomposition de l'eau acidulée et réunissons les deux électrodes *A* et *C* par un fil conducteur (Fig. 115). Nous constituons ainsi un véritable élément de pile qui donne naissance à un courant de sens inverse au précédent, c'est

à dire qui va, dans le circuit extérieur, de *A* vers *C* et dans la pile de *C* vers *A*. En même temps les deux gaz repassent à l'état de combinaison; le courant cesse d'ailleurs lorsque les deux gaz se sont à nouveau combinés.

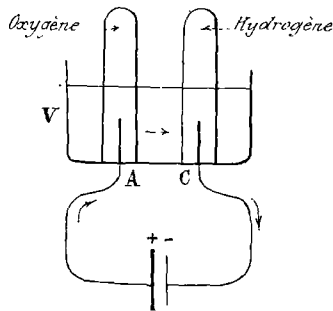


Fig. 114.

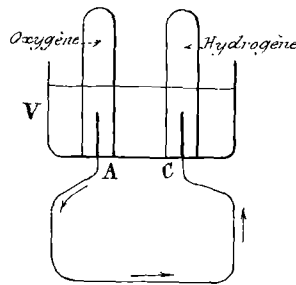


Fig. 115.

Tout appareil analogue au précédent, dans lequel on peut produire les deux transformations suivantes :

1^o - réaction d'un certain sens produite par un courant dit *Courant primaire* ou *courant de charge* ;

2^o - réaction inverse de la précédente ramenant le système à son état primitif et donnant naissance à un courant dit *Courant secondaire* ou *courant de décharge* de sens inverse au précédent ;

reçoit le nom d'accumulateur ⁽¹⁾

L'accumulateur (platine - eau acidulée - platine) ne donne naissance qu'à un courant de faible intensité et de peu de durée. C'est Gaston Planté à qui, en 1860, est dû le premier accumulateur pratique.

Accumulateur au plomb.

Cet accumulateur se compose de deux plaques de plomb; quand il est chargé, l'une d'elles est recouverte d'une couche de plomb poreux et spongieux, l'autre est recouverte d'une couche poreuse de peroxyde de plomb; ces deux plaques non séparées par un vase poreux sont plongées dans de l'eau acidulée par l'acide sulfurique. Les différents accumulateurs se distinguent entre eux par la manière dont sont produites les couches actives de plomb spongieux et de peroxyde de plomb et par la manière dont ces couches sont fixées sur les noyaux de plomb métallique.

Décharge de l'accumulateur.

Réunissons ces deux plaques par un conducteur, il se produit un courant qui va dans l'accumulateur de l'électrode plomb spongieux (anode de la pile ainsi formée) à l'électrode plomb recouvert de peroxyde de plomb (cathode de la pile formée). Les réactions qui se produisent pendant la production du courant de décharge sont les suivantes:

α) - à l'anode, dissolution du plomb spongieux dans l'acide sulfurique avec production de sulfate de plomb et d'hydrogène.

à l'anode de la pile.

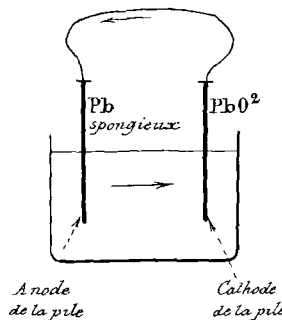
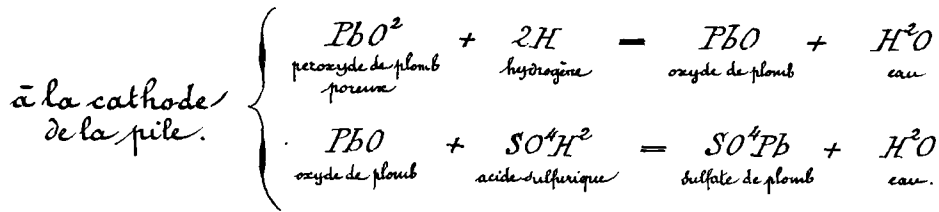


Fig. 116



β) - l'hydrogène produit, entraîné dans le sens du courant, vient au contact de la cathode, réduit le peroxyde de plomb à l'état d'oxyde de plomb; celui-ci au contact de l'acide sulfurique étendu produit du sulfate de plomb.

(1) On désigne parfois les accumulateurs sous le nom de transformateurs différés.



À la fin de la décharge, les deux électrodes sont l'une et l'autre recouvertes d'une couche poreuse de sulfate de plomb.

Charge
de l'accumulateur. inverse du précédent, l'électrolyte formée par l'acide sulfurique est décomposée en donnant de l'hydrogène et le radical restant SO^4 ⁽¹⁾

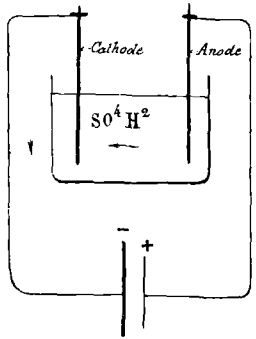
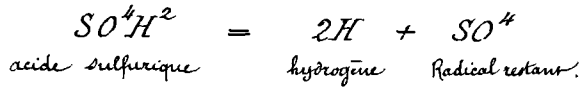
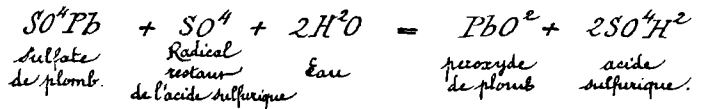


Fig. 117.

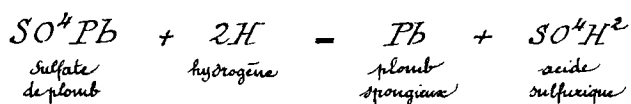
Le radical SO^4 apparaît sur l'anode du voltamètre, c'est à dire sur l'électrode par laquelle le courant entre dans l'électrolyte; au contact du sulfate de plomb, il donne naissance à du peroxyde de plomb et à de l'acide sulfurique.



L'hydrogène résultant de la décomposition de l'électrolyte est entraîné dans le sens du courant et apparaît sur la plaque par laquelle le courant sort de l'électrolyte et qui est ici la cathode du voltamètre. Au contact du sulfate de plomb, il y a réduction en plomb spongieux et acide sulfurique :

⁽¹⁾ Lorsque nous faisons ainsi passer un courant dans un électrolyte au moyen de deux plaques conductrices appelées électrodes, nous constituons ce que l'on appelle un voltamètre ou une cuve électrolytique.

Remarquons que, dans le cas actuel, le courant passant dans deux sens différents dans la charge et la décharge, la cathode du voltamètre est l'anode de la pile secondaire formée pour la décharge et l'anode du voltamètre est la cathode de la pile secondaire.



À la fin de la charge, le système est revenu à l'état qu'il avait au début de la décharge; l'une des plaques est recouverte de plomb spongieux et l'autre est recouverte de peroxyde de plomb. ⁽¹⁾

Conditions de fonctionnement des accumulateurs au plomb. Décharge. — La force électromotrice des accumulateurs varie pendant la charge en montant, suivant les types, jusqu'à atteindre environ 2,7 volts. Si on laisse l'accumulateur au repos c'est à dire en circuit ouvert, la force électromotrice tombe de 2,1 à 2,2 volts.

Si on le décharge normalement, c'est à dire en lui faisant débiter le courant de régime, la force électromotrice descend au début à 2,05 volts environ en quelques secondes, puis continue à tomber rapidement jusqu'à 1,95 volts environ. A partir de ce moment, la force électromotrice reste sensiblement constante pendant plusieurs heures, comme le montre la figure 118. On peut dire que 2 volts est la force électromotrice normale d'un élément (Plomb - acide sulfurique de densité 1,16 - peroxyde de plomb).

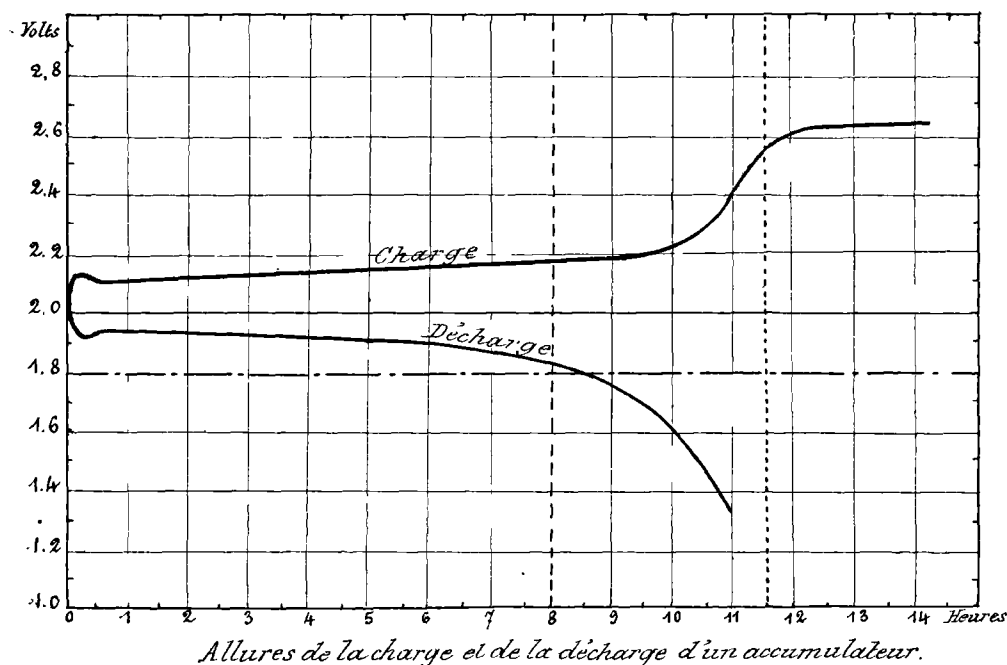
(1) Pour former un accumulateur, c'est à dire pour augmenter l'épaisseur de bixyde d'une lame et réduisant l'autre à l'état de plomb divisé, on intervient plusieurs fois le sens du courant de charge en laissant quelques jours de repos entre chaque changement de sens. La formation est une opération très longue, qui dure souvent plusieurs mois; elle se fait avec un courant de faible intensité. Pour écarter l'inconvénient d'une formation trop lente, M. Faure a mis du minium (Pb^3O^4) sur le métal en le fixant au moyen d'un lachet en feutre. Par l'action du courant de formation, cet oxyde se transforme, en dernière analyse, en PbO^2 sur une plaque et en PB spongieux sur l'autre.

De là découlent deux types d'accumulateurs:

1° Les accumulateurs à formation lente ou du type Planté. A ce type appartiennent les Reynier, Epstein, Compton et Howell, Garassino, Montaud, Meitens, Montier, Carpentier, Kabath, etc...

2° Les accumulateurs à formation rapide ou du type Faure. A ce type appartiennent les Philippart, Aron, Farbaki, Gaudini, Faure-Sellon, Volkmar ou accumulateur ERS, Gador, Lescelto, Hagen, Lollak....

Les accumulateurs Evdor ont la plaque positive du type Planté et la négative du type Faure.



Allures de la charge et de la décharge d'un accumulateur.

Fig. 118.

Pendant cette période, la chute de force électromotrice n'est que de 10 % de 1,95 à 1,85.

Il convient de suspendre la décharge aussitôt que la force électromotrice atteint une valeur comprise entre 1,85 et 1,80 si l'on veut ne pas détériorer l'élément. En effet, en dessous de 1,80 volt, la force électromotrice diminue brusquement et l'accumulateur est vite épuisé.

La résistance intérieure d'un accumulateur (comprise en général entre 0,01 ohm et 0,1 ohm) croît d'abord très lentement pendant la décharge puis plus rapidement.

Charge. — Pendant la charge, la force électromotrice d'un accumulateur déchargé à 1,8 ou 1,85 volt, monte en quelques minutes de 1,8 volt à 2,1 volt. Elle augmente ensuite très lentement.

Enfin, après quelques heures de charge, on aura, aux plaques positives un dégagement d'oxygène et aux négatives un dégagement d'hydro-

-gène. C'est l'indice que la transformation du sulfate de plomb en peroxyde de plomb sur une des électrodes et en plomb sur l'autre est arrivée au point de ne plus nécessiter tout le courant pour accomplir la transformation considérée. Si le courant continuait à traverser les éléments, il décomposerait la solution. Le dégagement des gaz commence à 2,30 volts et la force électromotrice aux bornes croît alors plus rapidement jusqu'à environ 2,40 v. pour continuer à monter plus lentement et atteindre tout au plus 2,7 volts. La limite pratique maximum, dans les types ordinaires, peut être prise égale de 2,5 à 2,6 volts.

Un indice pratique d'avoir atteint la limite est l'aspect laiteux du liquide, par suite du dégagement abondant de gaz, et le fait que l'augmentation de la force électromotrice devient plus lente. Ce point critique est indiqué par un pointillé dans la figure 118.

Il est bien entendu que les chiffres donnés ne sont pas généraux; ce sont des valeurs normales, pour des éléments bien entretenus, déchargés à intensité normale pendant 7 à 10 heures.

Constantes d'un accumulateur. Les divers types et modèles d'accumulateurs sont caractérisés, au point de vue électrique, par un certain nombre de constantes qui sont les suivantes.

1^o Capacité utilisable — On désigne sous le nom de capacité utilisable d'un accumulateur la quantité d'électricité exprimée en ampères-heure qu'il peut fournir pendant la partie de la décharge commençant au moment où l'accumulateur est complètement chargé jusqu'au moment où la force électromotrice aux bornes a baissé jusqu'à 1,8 volt⁽¹⁾.

(1) Note. Rappel des définitions des principales unités électriques.

Unité d'intensité. Ampère. Un courant de 1 ampère met en liberté par minute dans un voltamètre à gaz tournant (2 volumes d'hyd. pour 1 vol. d'oxyg.) 10,5 cent. cubes de gaz tournant mesuré à 0° cent. et à 760 mm. de

L'expérience met en évidence la proposition suivante.

Pour un même accumulateur, la capacité utilisable dépend de la durée de la décharge; elle est d'autant plus faible que cette durée est plus courte et par suite que le régime de décharge est plus élevé. (1)

(Suite du cours de la page précédente)

Conditions: le même courant met en liberté, par minute, à la cathode d'un voltamètre à cuivre 0,01968 grammes de cuivre ou à la cathode d'un voltamètre à argent 0,06708 gr. d'argent.

Unité de force électromotrice - Volt. Un élément Daniell a une force électromotrice de 1,07 volt; un élément Bunsen 1,8 volt; un élément d'accumulateur 2 volts.

Unité de résistance. Ohm. Résistance à 0° cent. d'une colonne de mercure ayant 106 centimètres de longueur et 1 millim carré de section — ou d'un fil de cuivre ayant 66 mètres de long et 1 millim carré de section.

Unité de quantité d'électricité. Ampère-heure. Quantité d'électricité qu'un courant d'un ampère met en mouvement pendant une heure à travers une section quelconque d'un conducteur. On dit aussi quelquefois qu'une source d'électricité qui est capable de fournir cette quantité d'électricité a une capacité de 1 ampère-heure.

Travail utile produit par un courant ou Energie d'un courant. C'est le produit du nombre d'ampères par le nombre de volts et par le nombre d'unités de temps (1 seconde ou 1 heure). Le watt-heure est le produit de 1 ampère par 1 volt et par 1 heure. Une batterie d'accumulateurs qui, pendant 1 heure, fournit un courant de 50 ampères avec une force électromotrice de 2 volts, produit un travail utile de 100 watts - heure.

Puissance d'un courant - watt. Produit de 1 ampère par 1 volt. Le watt est $\frac{1}{736}$ de cheval-vapeur.

(1) Nous empruntons à l'ouvrage de M. E. Liuzzoli (Installations de l'Eclairage électrique. Paris. Ch. Béranger) les résultats de 5 années d'expérience sur une batterie d'accumulateurs Cowens d'une capacité de 90 ampères-heure avec une décharge normale de 30 ampères, la décharge ayant toujours été interrompue lorsque la force électromotrice aux bornes de chaque accumulateur était de 1,8 volt.

Courant de décharge ampères	Durée de la décharge heures	Capacité utilisable ampères-heure
10	19,8	198
15	9,75	146
18	8,50	153
20	6,50	130
27,2	4,41	120
30	3,67	110

Le temps t , en heures, pendant lequel un accumulateur peut fournir un courant de décharge d'intensité I (ampères) est donné par la formule empirique:

$$I^n \times t = \text{constante}$$

dans laquelle le coefficient n varie de 1,35 à 1,72 avec les différents types d'accumulateurs

Pour être fixé sur un type d'accumulateur, il est nécessaire de connaître pour quelle durée de décharge la capacité est considérée. Les constructeurs indiquent généralement les capacités utilisables pour trois durées différentes de décharge.

La capacité utilisable ne dépend pas seulement de la surface des plaques, mais aussi de l'épaisseur de la couche de matière active qui varie avec la construction même des plaques. Aussi indique-t-on souvent la capacité utilisable par kilogramme de plaques ou d'électrodes.

Pour les accumulateurs genre Faure, cette capacité varie de 9 à 13 ampères-heure pour les régimes faibles de décharge. Elle est plus petite pour les accumulateurs genre Planté; mais pour les régimes de décharge élevés, ces derniers sont plus avantageux.

Comme on vient de le voir, la capacité utilisable d'un accumulateur diminue à mesure que l'intensité du courant de décharge va en augmentant.

Pour la décharge, le régime de 1,5 ampère par kilogramme de plaques est un régime à ne pas dépasser.

Il convient donc de régler la résistance extérieure sur laquelle est fermé l'accumulateur de telle façon qu'il en soit ainsi.

2^e Rendement en quantité. — Le rendement en quantité d'un accumulateur est le rapport de la quantité d'électricité débitée par cet accumulateur à la quantité d'électricité qu'il a reçue pendant la charge.

Supposons par exemple, que l'on ait trouvé pour un accumulateur:

<u>Charge.</u>	Durée	9,2 heures
	Intensité moyenne du courant	2,4 ampères
	Force électromotrice moyenne	2,16 volts
<u>Décharge.</u>	Durée	4,6 heures
	Intensité moyenne	4,5 ampères
	Force électromotrice moyenne	1,98 volts.

La quantité d'électricité reçue pendant la décharge est :

$$2,4 \times 9,2 = 22,08 \text{ ampères-heure.}$$

La quantité d'électricité débitée pendant la décharge est :

$$4,5 \times 4,6 = 20,70 \text{ ampères-heure.}$$

Le rendement en quantité est $\frac{20,70}{22,08} = 0,937$ ou $93,7\%$.

Ce rendement en quantité varie entre $0,80$ et $0,90$.

3° Energie disponible d'un accumulateur. — L'énergie disponible à la décharge (exprimée en watts-heure) est le produit de la force électromotrice moyenne à la décharge (exprimée en volts) par la capacité utilisable (exprimée en ampères-heure).

De même, l'énergie utilisable par kilogramme d'électrodes (exprimée en watts-heure par kilogramme) est égale au produit de la force électromotrice moyenne à la décharge (exprimée en volts) par la capacité utilisable du kilogramme d'électrode.

Ainsi dans l'exemple précédent, l'énergie disponible de l'accumulateur est égale à

$$\underbrace{4,6 \times 4,5}_{\text{capacité utilisable}} \times \underbrace{1,98}_{\substack{\text{Force} \\ \text{électromotrice} \\ \text{moyenne}}} = 40,99 \text{ watts-heure.}$$

4° Rendement en énergie — Le rendement en énergie est le rapport de l'énergie utilisée pendant la décharge (exprimée en watts-heure) à l'énergie fournie à l'accumulateur pendant la charge, (exprimée en watts-heure).

Dans l'exemple précédent, l'énergie fournie pendant la charge est :

$$9,2 \times 2,4 \times \underbrace{2,16}_{\substack{\text{Force} \\ \text{électromotrice} \\ \text{moyenne}}} = 47,68 \text{ watts-heure.}$$

Le rendement en énergie est égal à : $\frac{40,99}{47,68} = 0,859$ ou $85,9\%$.

Si la force électromotrice aux bornes de l'accumulateur était la même lors de la décharge que lors de la charge, ce rendement serait égal au rendement en quantité. Mais comme la force électromotrice

de décharge (1,95 volt en moyenne) est toujours plus petite que la force électromotrice sous laquelle on charge l'accumulateur (2,2 volt en moyenne), le rendement en énergie est toujours plus petit que le rendement en quantité.

Le rendement varie de 80 à 85% mais il n'a de signification que dans le cas où l'on indique les régimes de charge et de décharge auxquels on a opéré. Avec des régimes très faibles, on dépasse quelquefois 90% tandis qu'à des régimes élevés, on reste souvent au-dessous de 50%.

On a donc intérêt à ne pas avoir en particulier un régime de charge trop élevé. Il est préférable de charger longtemps en employant un courant de faible intensité, que de charger rapidement avec un courant de grande intensité; il se produit, en effet, dans ce dernier cas, un échauffement des électrodes qui les détériore.

Un bon régime de charge (donné d'ailleurs pour chaque type par le fabricant) est de 0,8 ampère par kilogramme de plaques. Supposons que nous ayons un élément employé en automobile et pesant 4 kilogr.; nous déduisons environ 1 kilogr. pour la boîte et le liquide, ce qui donnera pour les plaques un poids approximatif de 3 kilogr. Il faudra charger l'accumulateur avec une intensité de 2,4 ampères.

D'après M. L. Baudry de Saunier (Les recettes du chauffeur - p. 170) les intensités à employer pour charger les accumulateurs employés dans l'allumage des moteurs sont données par le tableau suivant :

accumulateur à 2 plaques	— 2 ampères.	} par élément seul ou par batterie d'éléments montés en tension.
— id. — 3 — id. —	— 2 ampères	
— id. — 4 — id. —	— 4 ampères	

5^e - Puissance d'un accumulateur.

Cette puissance exprimée en watts est égale au produit de la force électromotrice moyenne de décharge de l'accumulateur par l'intensité du courant qu'il fournit en régime normal.

On peut calculer cette puissance par rapport au kilogramme

d'électrodes en divisant la valeur de la puissance par le poids des électrodes exprimé en kilogrammes.

ainsi dans l'exemple précédent, la puissance de l'accumulateur² est : $1,98 \times 4,5 = 8,91$ watts.

Conditions que doit remplir

un bon accumulateur d'allumage. Nous venons de définir les constantes qui caractérisent un accumulateur. Quelles sont les conditions que doit remplir un bon accumulateur industriel et en particulier un bon accumulateur d'allumage.

Un bon accumulateur industriel doit :

- 1^o - avoir un bon rendement en quantité et un bon rendement en énergie;
- 2^o - avoir une grande capacité utilisable par Kg. de plaques;
- 3^o - pouvoir se prêter à des charges et décharges rapides sans que son rendement soit en quantité soit en énergie, ni sa durée, s'en trouvent trop affectés;
- 4^o - pouvoir être manié sans danger et transporté sans précaution et sans crainte de projection d'acide;
- 5^o - pouvoir résister aux trépidations et surtout aux vibrations des voitures;
- 6^o - conserver longtemps sa charge lorsqu'il n'est pas en service.⁽¹⁾

Or nous allons montrer que toutes ces qualités sont à peu près incompatibles. Dès lors, suivant l'usage auquel on destine un accumulateur, il est préférable de sacrifier certaines d'entre elles et de ne conserver que

(1) Edouard Neupert. L'accumulateur sec Darby (Locomotion. 2^e année. N^o 33. p. 313). Les trois premières qualités indiquées ci-dessus est que doit présenter un bon accumulateur industriel sous plutôt des qu'il est requis des accumulateurs fixes d'usine ou des accumulateurs destinés à la traction; en effet, si le rendement en énergie de ceux-ci, par exemple, n'est que de 45%, au lieu de 90%, le prix du kilomètre se trouve doublé.

celles qui sont importantes pour la fonction à laquelle on destine l'instrument.
Les trois dernières qualités (4^e - 5^e - 6^e) propriété, solidité et pouvoir de conserver la charge en circuit ouvert, sont les qualités les plus importantes que l'on doit exiger d'un accumulateur destiné à l'allumage.

Il importe peu en effet qu'un tel accumulateur puisse se prêter à des charges et à des décharges rapides, puisque en aucun cas en service normal, on n'aura à lui en faire subir; il n'est pas très important que les rendements en quantité et en énergie soient élevés.

Une grande capacité utilisable par kg. de plaques est due à la grande quantité de matière active qui est souvent formée de grandes pastilles soutenues par de larges grilles.

Or, comme le fait remarquer M. E. Nieupoort, cette grande capacité utilisable due à l'abondance de la matière active est tout à fait illusoire dans le cas des accumulateurs soumis à des trépidations répétées. Ces trépidations finissent toujours en effet par diminuer l'adhérence entre les grilles et les larges pastilles. Ce manque d'adhérence, outre qu'il détériore l'accumulateur en faisant tomber les pastilles au fond du bac, produisant ainsi des courts-circuits, occasionne entre les pastilles et la grille des couples locaux, qui contribuent beaucoup à la décharge des accumulateurs en circuit ouvert. Dans les accumulateurs d'allumage, il convient donc, pour conserver aux pastilles de matière active une adhérence suffisante avec leur support, de leur donner les plus petites dimensions possibles.

Pour avoir un accumulateur d'allumage pouvant être transporté sans crainte de projection d'acide, il est avantageux d'immobiliser⁽¹⁾

⁽¹⁾ L'immobilisation du liquide présente l'inconvénient d'augmenter la résistance intérieure de l'élément et par suite de diminuer sa capacité utilisable. C'est aux charges et décharges rapides, que cette augmentation de résistance se fait plus particulièrement sentir.

le liquide comme nous l'avons déjà indiqué pour les piles. Parmi les nombreux accumulateurs à liquide immobilisé qui ont été proposés, celui qui semble le mieux construit en vue de l'allumage est l'accumulateur Sec Dary au plomb, oxyde de plomb et acide sulfurique. L'électrolyte pâteux (liquide immobilisé) employé dans cet accumulateur, outre l'avantage de supprimer les projections d'acide, contribue dans une large part, à assurer cette solidité à toute épreuve que nous avons indiquée comme étant indispensable; avec lui les plaques ne sont plus continuellement lavées, usées et désagrégées par un barbotage de liquide.⁽¹⁾

Charge des accumulateurs.

Proposons-nous maintenant d'indiquer comment on peut charger des accumulateurs destinés à l'allumage d'un moteur d'automobile.

1^{re} Charge au moyen de piles. Le mode de recharge le plus pratique pour un chauffeur d'automobiles, est certainement l'emploi de la pile. La pile dont le maniement est le plus simple est la pile au bichromate de potassium ou bien la pile Bunsen. On relie le pôle positif de la pile (pôle charbon de corne), au pôle positif de l'accumulateur et le pôle négatif de la pile (pôle zinc) au pôle négatif de l'accumulateur.

Proposons-nous de rechercher quel est le nombre d'éléments de pile nécessaires pour charger par exemple deux accumulateurs.

Prenez deux accumulateurs chacun de 20 ampères-heure environ de capacité utilisable et chargeons-les au moyen de 4 grands Bunsen dont chacun a une force électromotrice de 1,8 volt et une résistance intérieure de 0,3 ohms.

Disposons en tension les éléments de pile et les 2 accumulateurs, comme le montre la figure 119. Si chacun des accumulateurs contient 3 kgr. de plaques, il faut que l'intensité du courant de charge

(1) Pour les soins à apporter dans la manipulation des accumulateurs d'allumage, voir L. Daudry de Saunier. Les recettes du chauffeur. p. 168 à 197.

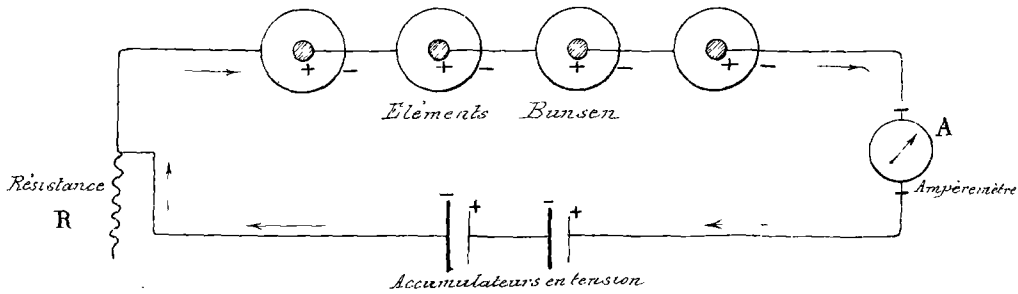


Fig. 119.

soit voisine de $0,8 \times 3 = 2,4$ ampères. Il convient donc de régler la résistance R de telle façon que l'intensité du courant marquée par l'ampèremètre introduit dans le circuit soit voisine de la valeur précédente. Or l'intensité du courant qui passe dans le circuit est donnée par la formule:

$$I = \frac{E - e}{I_B + I_a + R_A + R}$$

en désignant par: E , la force électromotrice de la pile;

e , la force électromotrice de la batterie d'accumulateurs
ou force contre-électromotrice;

I_B , la résistance intérieure de la pile;

I_a , la résistance intérieure de la batterie d'accumul^{és};

R_A , la résistance de l'ampèremètre;

R , la résistance introduite par le rhéostat.

Dans le cas actuel, on a, puisque les éléments de la pile et ceux de la batterie d'accumulateurs sont en tension:

$$E = 4 \times 1,8 \text{ volts} = 7,2 \text{ volts}$$

$$e = 2 \times 2,2 \text{ volts} = 4,4 \text{ volts (voltage moyen de charge d'un accumulateur)}$$

$$I_B = 4 \times 0,3 \text{ ohm} = 1,2 \text{ ohm}$$

$$R_A = 0,2 \text{ ohm}$$

$$R = 0$$

$$I_a = \text{négligeable} \approx 0$$

La capacité utilisable étant de 20 ampères-heure en moyenne la durée de la charge sera donc de $\frac{20}{2} = 10$ heures.

Supposons que les deux accumulateurs soient réunis en quantité, comme le montre la figure 120.

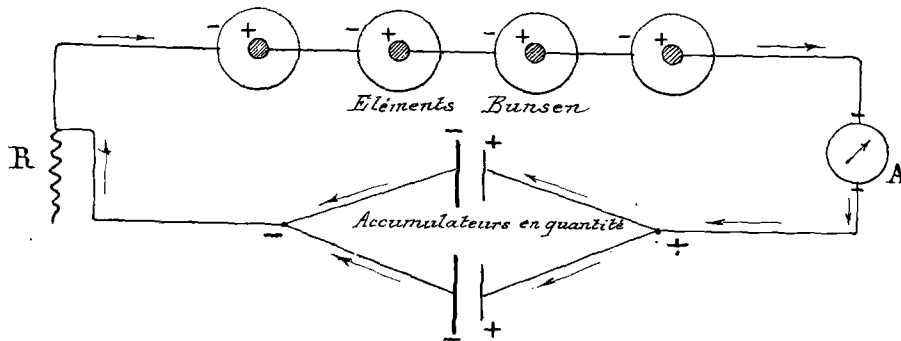


Fig. 120.

Nous avons dans ce cas : $E = 7,2$ volts $e = 2,2$ volts

$I_B = 1,2$ amp $I_a = 0$ $R = 0$ $R_A = 0,2$ ohm

$$3,6 = \frac{7,2 - 2,2}{1,4} = \frac{5}{1,4}$$

La capacité utilisable étant de 40 ampères-heure en moyenne, la durée de la charge est donc dans ce cas de

$$\frac{40}{3,6} = 11 \text{ heures environ.}$$

Comme dans ce cas on peut prendre un courant voisin de 4,8 ampères, il est possible d'employer 6 Bunsen pour la charge et celle-ci dure alors 10 heures comme le montrent les formules :

$$\frac{6 \times 1,8 - 2,2}{6 \times 0,3 + 0,2} = \frac{10,8 - 2,2}{2} = 4,3 \text{ ampères.}$$

$$\frac{40}{4,3} = 10 \text{ heures environ.}$$

Supposons qu'au lieu de deux accumulateurs de 20 ampères-heure de capacité utilisable, nous ayons à charger un seul accumulateur ayant cette capacité. D'après la formule

$$I = \frac{E - e}{I_B + I_a + R_A + R}$$

il faut que la force électromotrice E de la pile en charge soit supérieure à la force électromotrice e . Comme cette dernière est égale en moyenne à 2,2 volts, le nombre minimum d'éléments Bunsen que l'on doit employer

pour la charge d'un seul accumulateur est égal à 2. Dans ce cas, l'intensité I du courant de charge est, en ampères:

$$1,75 = \frac{3,6 - 2,2}{0,6 + 0,2} = \frac{1,4}{0,8}$$

et la durée de la charge est: $\frac{20}{1,75} = 12$ heures environ.

2°. Charge par courant d'éclairage.

Lorsqu'on a une installation d'éclairage, à courant continu, il est facile de s'en servir pour charger des accumulateurs destinés à l'allumage d'un moteur.

Supposons que nous ayons deux accumulateurs reliés en série; relier les pôles de la batterie aux deux bornes d'une prise de courant d'éclairage en ayant soin de relier le pôle positif de la conduite d'éclairage au pôle positif de la batterie et réciproquement. Quelle est la résistance R que l'on doit interposer dans le circuit (Fig. 121) pour que l'intensité du courant qui traverse les accumulateurs ne dépasse pas 0,8 ampère par kilogramme de plaque ?

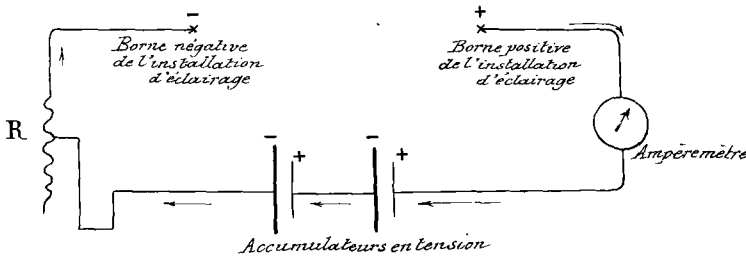


Fig. 121.

Si un des accumulateurs contient 3 kgr. de plaques, on doit se tenir, pour l'intensité du courant de charge, dans le

voisinage de 2,4 ampères. La résistance R à introduire est alors donnée par la formule :

$$2,4 = \frac{110 - 4,4}{0,2 + R}$$

ou $R = 43,8$ ohms.

(application de la formule :

$$I = \frac{E_i - e}{I_B + I_a + R_A + R}$$

dans laquelle $I_B = 0$; $I_a = 0$; $R_A = 0,2$)

Or nous savons que si une lampe dite (110 volts - 32 bougies) est placée sur une canalisation à 110 volts, sa résistance, lorsqu'elle

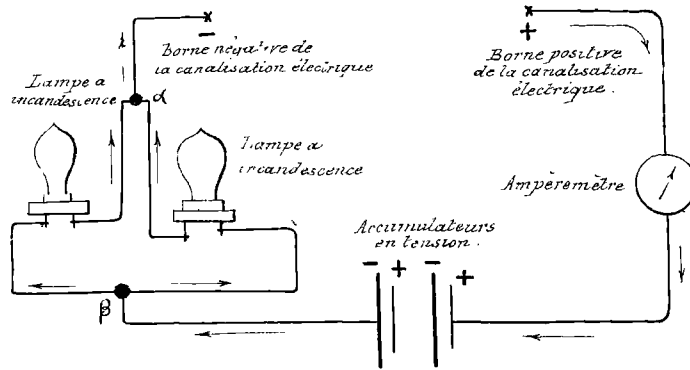


Fig. 122.

veille de son éclat maximum est telle que l'intensité du courant qui la traverse est de 1 ampère. Cette résistance est donc de 110 ohms. (1)

Mais plaçons les deux lampes dans le circuit, comme le montre la figure 122. On démontre que la résistance R introduite dans le circuit est alors de $\frac{110}{2} = 55$ ohms. L'intensité du courant de charge est alors de 2 ampères, ce qui fait 10 heures de charge si chaque accumulateur a une capacité utilisable de 20 ampères-heure.

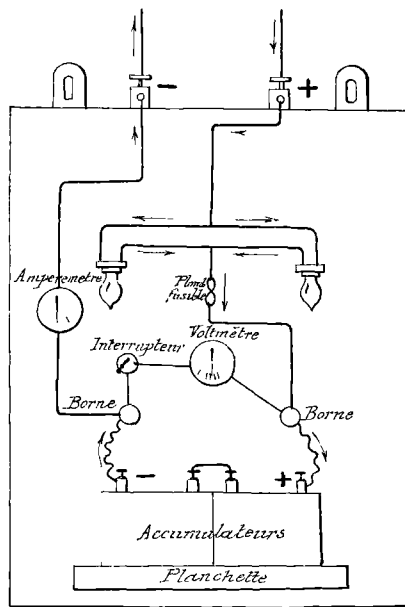


Fig. 123.

Tableau de charge d'accumulateur d'allumage par courant d'éclairage.

(L. Baudry de Saunier - Les Recettes du Chauffeur - p. 190)

La figure 123 représente le tableau de charge d'accumulateurs par courant d'éclairage, que constitue la maison de Dion-Bouton. (Fig. 123).

- (1) Une lampe à incandescence de 10 bougies alimentée par une distribution à 110 volts (l'indication donnée sur la lampe est $\frac{10}{110}$) est traversée par un courant d'environ 0,3 ampère; (Résistance: 367 ohms environ);
 une lampe de 16 bougies (marquée $\frac{16}{110}$), par un courant de 0,5 ampère (Résistance: 220 ohms environ);
 — id. — 32 — (marquée $\frac{32}{110}$), — id. — 1 ampère (— id. — 110 ohms environ).

§ 9 - Allumage par étincelle d'extra-courant de rupture.

Inconvénients que présente l'allumage par piles ou accumulateurs et bobine d'induction.

L'allumage par piles ou accumulateurs et bobine d'induction, que nous avons étudié dans le paragraphe précédent, présente un certain nombre d'inconvénients parmi lesquels on peut citer les suivants.

1^o - La source d'électricité s'épuise rapidement, même quand elle est constituée par une pile, lorsque la pièce qui établit le courant est mal conçue ou mal réglée. Quant aux accumulateurs, ils sont d'un entretien très délicat si l'on veut les conserver longtemps en bon état; nous avons vu qu'il faut toujours éviter de les décharger assez pour que la force électromotrice de chaque élément devienne inférieure à 1,8 volt. Un court-circuit, toujours facilement provoqué par les conditions d'utilisation de l'appareil, amène sa détérioration. Enfin l'accumulateur peut se trouver déchargé dans des circonstances où sa charge est impossible; il constitue alors un organe inutile.

2^o - La bobine d'induction est, de son côté, un organe qui exige du soin et de la sollicitude de la part du conducteur d'automobiles. Elle ne doit jamais être heurtée violemment (la rupture d'un fil à l'intérieur constitue une panne irréductible), elle craint la chaleur et la pluie (Ne doit jamais être placée à proximité de l'échappement ou de la circulation d'eau à cause de la fusibilité de la matière isolante). Enfin elle produit un courant secondaire de haute tension qui exige un isolement très soigné du fil qui amène ce courant à la bougie d'allumage.

Cette tension très élevée du courant secondaire de la bobine d'allumage est nécessaire parce qu'il s'agit de faire jaillir une étincelle entre deux pointes qui ne se touchent pas et qui sont séparées l'une de l'autre par un gaz comprimé à 4 ou même 5 atmosphères qui, dans ces

conditions, constitue un milieu très résistant.

Aussi a-t-on cherché à produire une étincelle électrique dans la chambre de combustion du moteur sans employer un courant de haute tension. On y est parvenu en utilisant les propriétés du courant de self induction qui se produit lors de la rupture du circuit d'un courant.

Étincelle d'extra-courant de rupture.

On sait que si l'on vient à ouvrir un circuit parcouru par un courant on fait naître dans ce circuit un courant d'induction direct c'est à dire de même sens que le courant principal. La production d'un tel courant donne naissance, au moment de la rupture du courant principal, à une étincelle qui éclate entre les deux parties du circuit à ce moment voisines l'une de l'autre. C'est cette étincelle désignée sous le nom d'étincelle d'extra-courant de rupture, que l'on produit dans le moteur à la place de l'étincelle d'induction. Comme on le voit, le circuit du courant est constamment établi, puisque les deux pièces entre lesquelles se produit l'étincelle sont en contact et que ce n'est que par l'éloignement subit d'une de ces pièces par rapport à l'autre que l'on produit l'étincelle qui enflamme le mélange tonnant introduit dans le moteur. Nous allons voir qu'il résulte de là que la force électromotrice ou tension du courant principal n'a pas besoin d'être très considérable pour obtenir une étincelle de rupture très chaude.

Circonstances qui favorisent la production d'une étincelle d'extra-courant de rupture très chaude.

En effet, pour obtenir une étincelle de self induction de rupture suffisamment chaude, il convient d'augmenter la force électromotrice du courant de self induction. Or, on parvient à ce résultat :

1^o - En augmentant la self induction du circuit.

On constitue ce circuit par une bobine comprenant un grand nombre de tours de fils et contenant à son intérieur une grande masse de fer doux.

2^o - En accroissant la vitesse de variation de l'intensité du

courant principal jouant ici le rôle de courant inducteur.

On y parvient en produisant une rupture aussi brusque que possible du circuit.

On voit donc que la force électromotrice du courant principal n'a pas besoin d'être considérable pour obtenir un extra-courant de rupture ayant une tension considérable et donnant naissance à une étincelle suffisamment chaude.

Dès lors les fils qui conduisent le courant de la source d'électricité aux pièces qui, en s'écartant, doivent donner naissance à l'extra-courant de rupture, au lieu d'être parcourus par un courant de 10 à 15.000 volts de force électromotrice comme dans le cas du courant secondaire d'une bobine, sont parcourus par un courant dont la force électromotrice est de 50 à 100 volts. L'isolement de ce fil a donc besoin d'être beaucoup moins soigné et les chances de panne résultant des défauts d'isolement sont considérablement diminuées.

Principe de l'allumage par extra-courant de rupture. Le principe de l'allumage par extra-courant de rupture est représenté schématiquement dans la figure 124.

Dans le fond du cylindre du moteur est disposée une tige α isolée électriquement et mise en communication avec un pôle d'une source d'électricité dont l'autre pôle est en communication avec la masse de la machine.

Une palette B , montée sur un axe D peut s'appuyer sur la tige isolée. L'axe D prolongé porte en outre, calée à son extrémité une palette extérieure sur laquelle agit une tige A soulevée, tous les deux tours du moteur, par une came O montée sur un arbre B tournant à une vitesse moitié moindre que celle de l'arbre moteur. On voit donc que chaque fois que l'explosion devra être produite, la palette B sera écartée de α et une étincelle se produira en c , déterminant l'inflammation du mélange tonnant comprimé.

Modes d'installation
mécanique de la
rupture du circuit.

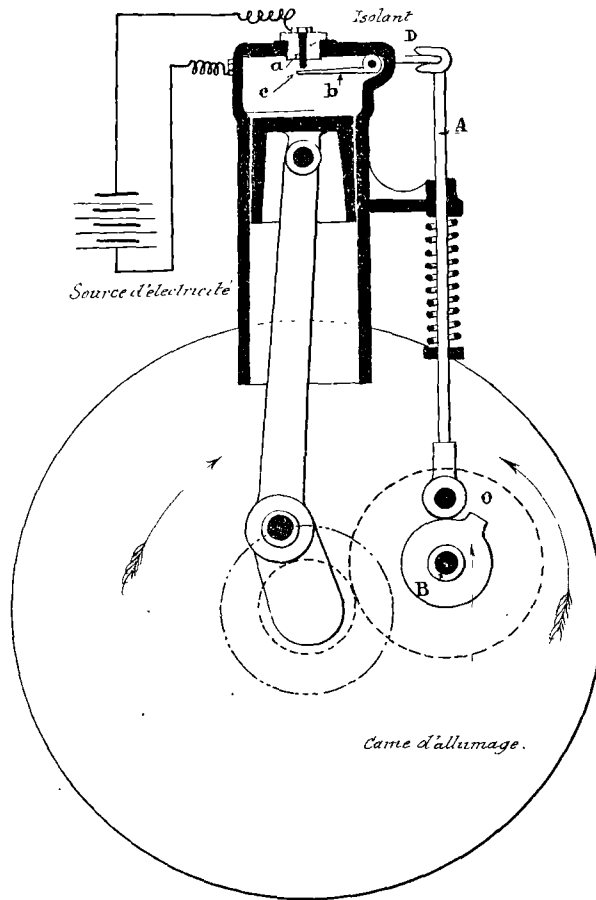


Fig. 124.

Schéma d'allumage par étincelle d'extra-
courant de Rupture.

(J. Gobier. Les Moteurs à Pétrole. p. 103.)

Nous devons donc élucider:
1^o les modes d'installation
mécanique de la rupture
du circuit;
2^o la source qui fournit
le courant dont la rupture
donne naissance à l'étincelle
d'allumage.

I. Le Tampon.⁽¹⁾

Dans la tête du moteur,
à l'endroit où le constructeur
estime que l'étincelle doit
produire son meilleur effet,
est monté un large bou-
chon épais, dénommé tampon.
Cette pièce est en fonte,
simplement vissée sur le
cylindre par des boulons ou
(très rarement) vissée sur
lui.

Le tampon porte deux axes :

1^o Un immobile I (Fig. 125) est l'inflammateur, ou bougie cons-
titué par une simple tige de nickel ou d'acier nickelé auquel aboutit
le courant venant de la source d'électricité.

(1) Cette description et celle des organes principaux de l'allumage par extra-courant de rupture sont em-
pêchées aux remarquables articles publiés par M. L. Baudry de Saunier. Allumages par magnéto.
(Locomotion 2^e année N^{os} 60, 61, 62, 63. p. 740 à 794.)

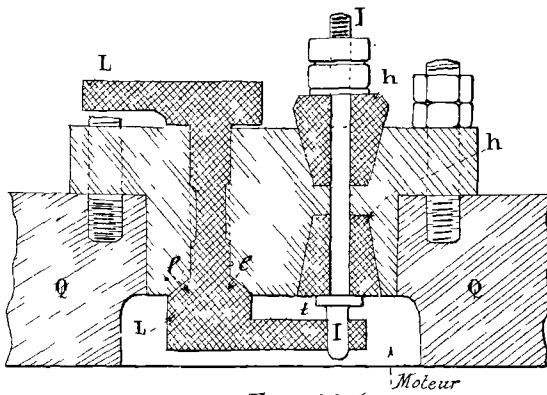


Fig. 125.

Schéma du tampon.

(Locomotion 2^e Année . N^o 62 . p. 773.)

2^e - L'autre, mobile autour de son axe, est un levier à deux bras L. L'un de ces bras est extérieur au moteur et reçoit la commande par choc d'une tige mue par ce moteur; l'autre est intérieur au moteur, joue dans la culasse, et peut venir toucher puis s'écarter de la partie de l'inflamateur qui fait

saillie à l'intérieur de cette même culasse. Le levier n'est pas isolé du tampon; il fait donc partie de la masse comme lui et comme le moteur QQ.

L'inflamateur est une tige droite de 6^{m/m} environ de diamètre, terminée du côté du moteur par un épaulement de 10^{m/m}. Cette tige est noyée dans un double cône h, aux pointes opposées, de matière isolante; de 14^{m/m} environ de diamètre (stéatite, mica, émail). Un joint d'amiante t sépare de la substance isolante la tête de l'inflamateur, afin d'éviter que les coups de feu des explosions ne pénètrent sous cette tête et ne finissent par la couper. Cette rondelle évite de plus les fuites de compression qui pourraient se produire.

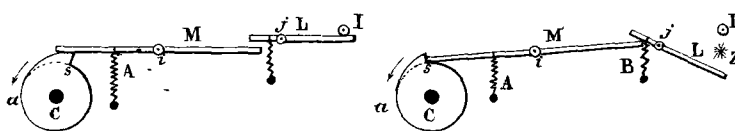
Le levier du tampon est en fer. Du côté de l'intérieur, il se termine par un doigt long qui vient au contact de l'inflamateur. Son axe d'articulation est évidé dans sa partie médiane pour éviter un frottement inutile et renforcé d'une partie conique ll, qui sert de bouchon automatique au gaz comprimé. La pression de l'explosion pousse en effet ce cône sur son siège, où il se rode comme un clapet et prévient ainsi toute fuite.

Un tampon est donc une épaisse pièce de fonte, logée dans la tête du moteur et qui porte deux organes dont l'un peut venir facilement au contact de l'autre. Ces deux organes sont en relation avec les 2 pôles de la source d'électricité. Le circuit électrique est donc fermé quand le levier touche l'inflamateur et ouvert quand il en est éloigné.

II. La Rupture.

Comme nous l'avons dit plus haut, il faut que la rupture, c'est à dire l'écartement subit entre le levier et l'inflamateur dans lequel passe le courant, soit aussi brusque que possible. Tous les procédés qui donnent un écartement plus ou moins progressif sont mauvais : aussi tous les bons systèmes sont-ils disposés d'après un plan dont le schéma de la figure 126 donne l'idée.

Le moteur actionne une came C à échappement très rapide, sur laquelle vient s'appuyer l'extrémité d'un levier d'interruption M articulé en i. Lorsque la came vient à présenter son échancrure, le levier y tombe tout à coup par suite de la traction qu'exerce sur lui le ressort à boudin A. En basculant, il vient frapper le bout du levier de tampon L, articulé en j et dont l'autre bout est au contact de l'interrupteur I. Il y a donc brusque rupture du courant établi et l'étincelle jaillit en Z.



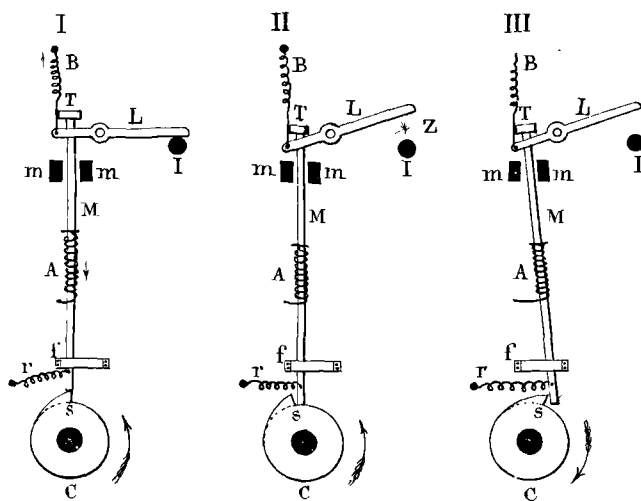
- C, came.
- M, levier d'interruption articulé en i.
- A, ressort à boudin exerçant une traction sur le levier M.
- L, levier de tampon articulé en j.
- I, interrupteur.
- Z, étincelle d'extra-courant de rupture.
- B, ressort à boudin ramenant L au contact de I.

Fig. 126.

Schéma de la rupture du circuit.
(Locomotion. 2^e Année. N° 62. p. 173.)

La came continuant à tourner présente au levier M sa partie cylindrique (qui commence en s et se termine seulement en a); les leviers demeurent dans leurs positions

respectives, le courant reste donc rompu. Lorsque la partie excentrée de la came (de a à s) représente sa bosse au levier M , celui-ci est remis en sa place primitive et un petit ressort à boudin B , moins fort que A , ramène le levier I au contact de I , rétablissant le passage du courant. Enfin dans le but d'augmenter la brusquerie de l'écartement des 2 pièces, le constructeur laisse une distance de 2 à 5^{mm} entre le levier d'interruption M et le levier de tampon I ; dans ces conditions, le bout du levier M , ayant acquis, avant de heurter le levier de tampon une force vive, semble attaquer ce levier avec la soudaineté et la netteté d'un coup de marteau. D'ailleurs le grand bras du levier I ayant une longueur double de celle du petit bras, celui-ci n'a besoin d'être écarté que d'une quantité très petite pour que le grand bras quitte le contact I et que la rupture du circuit ait lieu.



C, came.
 M, tige d'interruption.
 A, ressort tendant à maintenir verticale la tige M.
 f, fourchette fixe guidant la tige M.
 m, guide de la tige M.
 T, crochet ou marleau formant la tête de la tige M.
 I, levier de tampon.

Fig. 127.

Schéma de montage d'une rupture de circuit
 (Locomotion - 2^e année - N^o 62 - p. 74.)

La figure 127 représente un montage d'allumage par extra-courant de rupture. On fait monter et descendre sur une came C une tige d'interruption M verticale; cette tige est maintenue en contact constant avec la came par un bon ressort A . Cette tige est guidée en bas dans une fourchette fixe I où elle peut se déplacer dans un sens, et en haut dans un autre

guide *mm* où elle a un jeu d'un millimètre environ.

La tête de cette tige est formée par un crochet ou marteau I', généralement un écrou et un contre-écrou sur le bout fileté, qui, lorsque elle descend vient butter contre le levier de tampon I. Les dessins I et II de la figure 127 indiquent ce qui se passe lorsque la came fait un tour.

Le dessin III montre la position que prend la tige d'interruption au cas où, dans une mise en marche, le moteur viendrait à donner un coup à contre-sens. La tige d'interruption s'incline en se déplaçant en bas dans la fourchette et en haut dans le guide *mm* où son déplacement latéral est insignifiant.

Dans la pratique, on fait la tête I' réglable par un écrou et un contre-écrou, pour que la distance entre elle et le levier ne varie pas ou du moins puisse être corrigée.

Cette distance peut, en effet, après plusieurs milliers de kilomètres, se modifier par suite de la pecté de substance que subissent en leur point de contact le levier I et l'inflammateur I, chaque étincelle enlevant une parcelle du métal qui s'y volatilise.

Dispositifs divers
d'interruption.

L'interruption brusque peut être obtenue :

- 1^o - Soit par une tige tombante ;
- 2^o - Soit par une tige oscillante .

Interruption par tige tombante. Le système *McC* précédé présente un exemple net de ce mode d'interruption.

La came C montée sur l'arbre de dédoublement (Figure 128) [côté aspiration; les soupapes d'admission étant commandées] ne présente pas une encoche à pic, analogue à celle que nous venons de décrire, mais un chemin de roulement très rapide qui se déroule au-dessous d'un galet qui termine la tige de rupture M.

Le galet est lui-même pincé dans une fourchette R articulée en S. Il en résulte qu'en faisant pivoter légèrement l'arbre P sur lequel

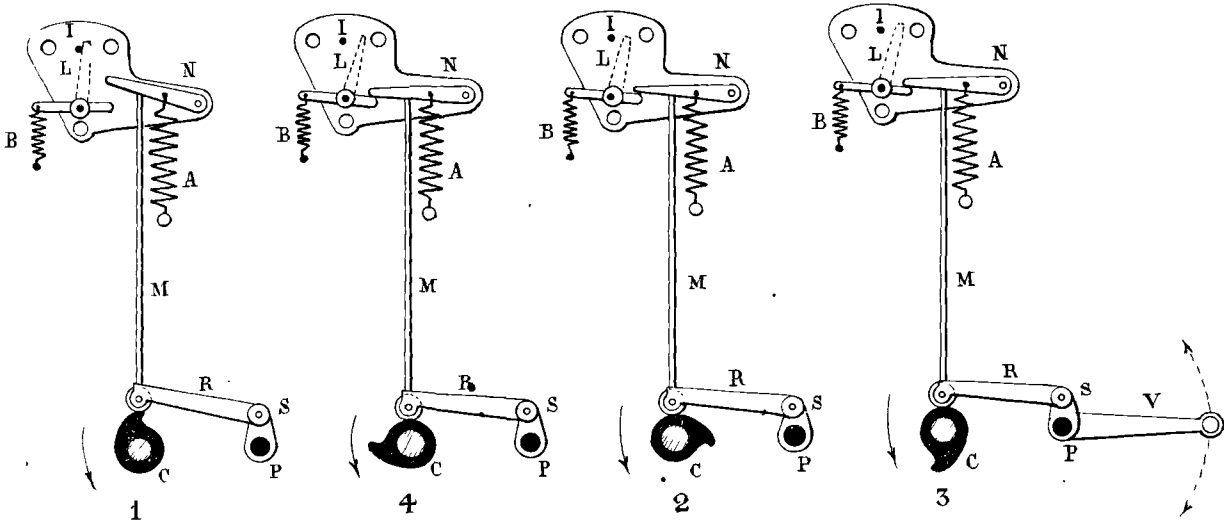


Fig. 128.

Schéma d'un dispositif de rupture Mercedes pendant les quatre principales positions du levier de la came.

(Locomotion, 2^e Année - N° 63 - p. 785.)

I, inflammateur — L, doigt mobile de contact — B, ressort de rappel de ce doigt — N, marteau frappant sur le doigt — A, ressort de rappel de ce marteau — M, tige de rupture — R, levier porte-galets — C, came — P, arbre de commande des leviers porte-galets — S, articulation — V, levier d'avance et de retard.

sont montées les fourchettes de quatre cylindres, on déplace les 4 galets au-dessus des 4 cames et on fait qu'ils soient soulevés par elle un peu avant ou un peu après le moment normal. On produit ainsi l'avance et le retard à l'allumage au moyen du levier V en relation avec le conducteur par une tige.

Les chocs en arrière n'ont pas d'effet nuisible parce que la came, n'ayant pas d'encoche brusque, ^{le galet} peut rouler sur elle impunément dans les deux sens.

Pendant environ les $\frac{3}{4}$ d'un tour complet de l'arbre de déclenchement, le levier N est abaissé. Lorsque le moment de la rupture approche, la tige M soulève ce levier N afin de permettre, au petit levier I de tampon de venir, sous l'effort du ressort B, au contact de l'inflammateur I.

La came se dérobant tout à coup sous le galet, c'est le ressort A qui produit le mouvement de rupture en repoussant dans l'échancrure la tige M et tirant en bas le levier N, qui donne un choc brusque au levier I.

Interruption par tige oscillante (Fig. 129).

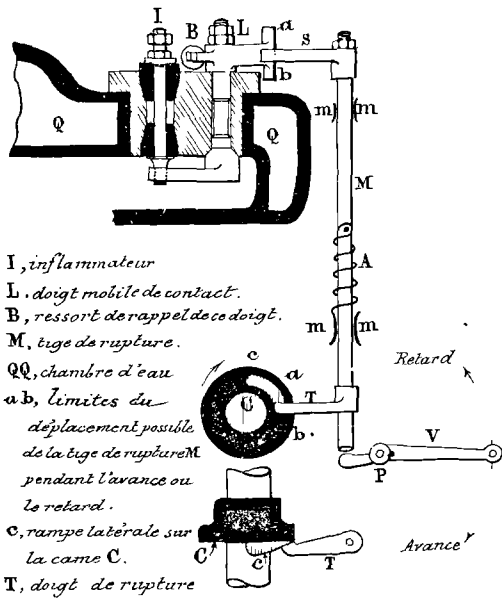


Fig. 129.

Schéma d'un dispositif
 de rupture par tige oscillante.
 (Locomotion 2^e Année n:63 p. 796.)

Dans ce mode d'interruption, la tige de rupture M tourne sur elle-même et donne son choc horizontalement au lieu de le donner verticalement, comme dans le système que nous venons d'étudier.

Cette tige de rupture porte en haut et en bas deux leviers horizontaux S et T (Fig. 129). Le bras S est destiné à appuyer sur la queue du levier de tampon I; le bras T, à suivre une came C à rampe rapide c qui lui communique les mouvements de va-et-vient.

Cette tige est guidée en haut et en bas en m m. Elle tend toujours sous l'effort d'un ressort de torsion A

à appuyer son levier S sur la queue du levier de tampon, mais la came ne lui permet de donner un coup brusque à cette queue qu'au moment où le levier T vient à échapper sur la rampe.

Quant à l'avance ou au retard à l'allumage il est obtenu par le déplacement du levier V articulé en P; ce levier soulève la tige M

ou la laisse descendre un peu. On déplace ainsi le levier I par rapport au point de la rampe qui fait le déclié, d'une quantité qui peut être égale à ab . Le levier S se déplace en même temps devant la queue du levier I qui a une hauteur ab égale à la valeur maxima des déplacements de la tige M.

Les choes en arrière sont sans effet sur ce dispositif, car le levier I se termine par une partie semi-ronde qui monte facilement dans les deux sens sur la came.

Le ressort A travaille ainsi à la fois à la torsion pour la rupture, et à la traction pour faire suivre à la tige M les mouvements du levier V.

Génération du courant.

La production du courant d'allumage est fondée sur le principe suivant.

Production de courants d'induction par déplacement d'un circuit fermé dans le voisinage d'un aimant.

Lorsque, dans le voisinage d'un aimant, on déplace un circuit fermé, on fait naître dans ce circuit un courant d'induction. Ce courant jouit de propriétés analogues à celles que nous avons étudiées lorsque, dans le voisinage d'un circuit fermé, nous avons fait varier l'intensité d'aimantation d'un aimant.

1^o - Le courant d'induction ne dure que pendant la production du mouvement relatif du circuit fermé par rapport à l'aimant.

Dès que le circuit fermé vient à s'arrêter par rapport à l'aimant, le courant d'induction cesse.

2^o - La force électromotrice d'induction ou l'intensité du courant d'induction qui parcourt le circuit fermé va en croissant avec la vitesse du mouvement relatif du circuit fermé par rapport à l'aimant.

3^o - Le sens dans lequel le circuit fermé est parcouru par le courant d'induction dépend :

α) - de la nature du pôle en présence duquel se déplace le circuit fermé ;

β) - de la direction du mouvement relatif du circuit par rapport à l'aimant.

Lorsque le mouvement du circuit s'effectue dans la même direction en présence d'un pôle nord ou d'un pôle sud, le sens du courant d'induction est inverse dans les deux déplacements. De même, on produit deux courants d'induction de sens inverse quand, après avoir approché le circuit fermé d'un pôle nord, par exemple, on vient à l'éloigner de ce pôle.

Ceci posé, considérons deux petites bobines AB et $A'B'$ formant chacune un circuit fermé et tournant autour d'un axe O comme l'indique la figure 130. Ces deux bobines se déplacent dans le même sens,

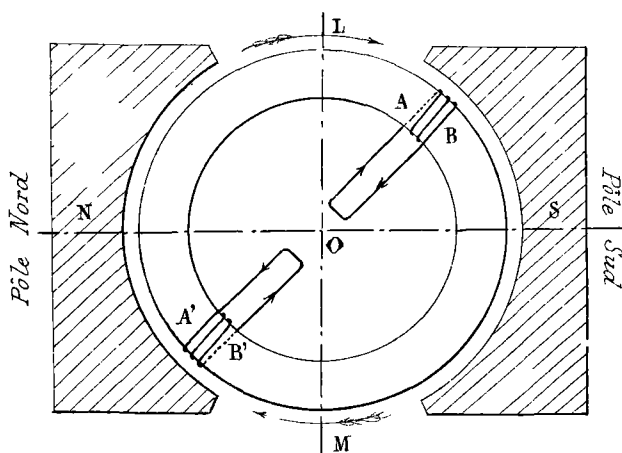


Fig. 130.

la bobine AB devant un pôle sud, la bobine $A'B'$ devant un pôle nord; elles sont parcourues par des courants de sens inverse, comme on le voit facilement sur la figure 130. La bobine AB devant être parcourue par un courant d'un certain sens tant qu'elle se déplace devant un

pôle sud et par un courant de sens inverse quand elle se déplace devant un pôle nord, le changement de sens du courant s'effectue au voisinage du plan de symétrie LM . C'est par conséquent au voisinage de ce plan de symétrie que le courant passe par la valeur zéro dans chacune des bobines. On voit dès lors que si nous considérons la rotation complète d'une bobine AB , l'intensité du courant d'induction qui parcourt cette bobine passe deux fois par zéro. D'autre part, considérons une demi-révolution de cette bobine AB . La force électromotrice du courant d'induction part de

la valeur zéro au commencement de cette demi-révolution pour revenir à zéro à la fin de cette même demi-révolution; elle passe donc, dans l'intervalle, par une série de maxima et de minima. Sa symétrie nous montre qu'elle passe par un maximum lorsque la bobine AB se trouve au voisinage d'un plan NS perpendiculaire au plan de symétrie IM. Représentons par une courbe les variations, pendant une révolution complète de la bobine AB, de la force électromotrice ou courant d'induction qui paraissent cette bobine; pour cela, portons en abscisses les valeurs des angles α que fait avec le plan IM le plan de symétrie de la bobine AB et en ordonnées les valeurs de la force électromotrice, positives quand le courant d'induction va dans un certain sens et négatives quand le courant d'induction va dans un sens inverse. Nous

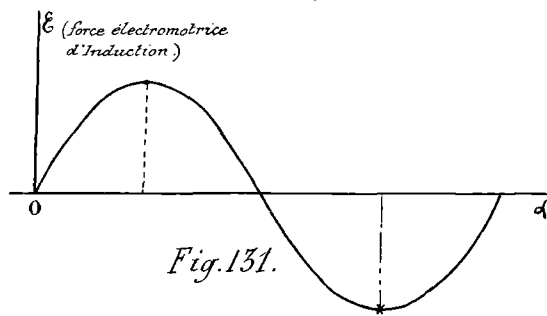


Fig. 131.

obtenons la fig. 131 qui nous montre que, pendant une révolution complète de la bobine AB, la force électromotrice passe par deux maxima et par deux minima qui sont nuls.

La bobine AB est donc, pendant une révolution complète,

parcourue par des courants alternatifs. Relions les deux extrémités du fil de cette bobine à deux bagues ^{métalliques} isolées dont les axes se confondent avec l'axe de rotation, autour duquel tourne la bobine (Fig. 132). Supposons que deux ressorts extérieurs appelés balais soient reliés par un circuit extérieur E

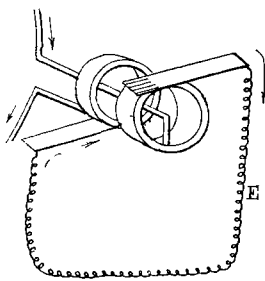


Fig. 132.

et viennent frotter sur les bagues mobiles. Le circuit extérieur E est alors parcouru par des courants alternatifs.

Il est souvent nécessaire de faire parcourir le circuit extérieur non plus par des courants alternatifs, mais par des courants continus, c'est-à-dire par des courants ayant toujours le même sens à un

instant quelconque.

On emploie alors le commutateur Redresseur qui est formé de deux coquilles semi-cylindriques isolées l'une de l'autre (fig. 136) et auxquelles arrivent les deux extrémités de la bobine AB . Les balais sont disposés dans une position telle que leurs communications avec les tronçons cylindriques du commutateur sont interverties au moment où le courant change de direction dans la bobine AB , comme le montrent nettement les fig. 133 et 134.

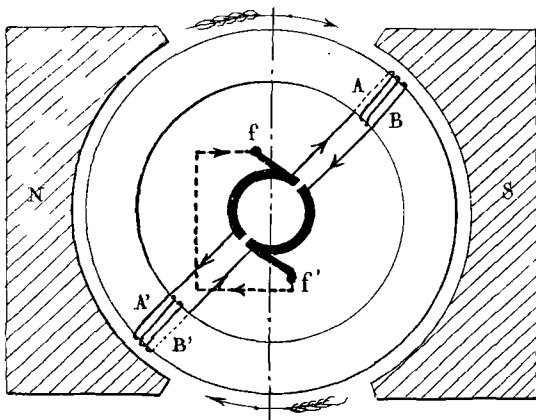


Fig. 133.

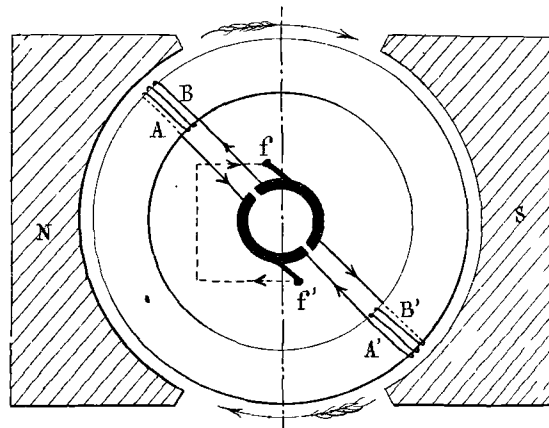


Fig. 134.

En faisant tourner les bobines AB et $A'B'$ dans le sens de la flèche, c'est-à-dire de gauche à droite, nous produisons, comme nous venons de le voir, dans le circuit extérieur un courant continu allant du balai f' au balai f . Si nous avions fait tourner les bobines en sens inverse nous aurions, en vertu des lois fondamentales de l'induction, donné naissance à un courant continu de sens inverse au précédent et parcourant le circuit extérieur du balai f au balai f' .

Dans ce qui précède, nous n'avons, pour simplifier l'exposition, considéré que le mouvement de deux bobines AB et $A'B'$. En réalité l'anneau sur lequel sont enroulées ces bobines est recouvert par une série de bobines comme le montre la figure 135. Si on relie les extrémités de ces bobines à deux anneaux isolés (Fig. 132), on constitue une machine à courants

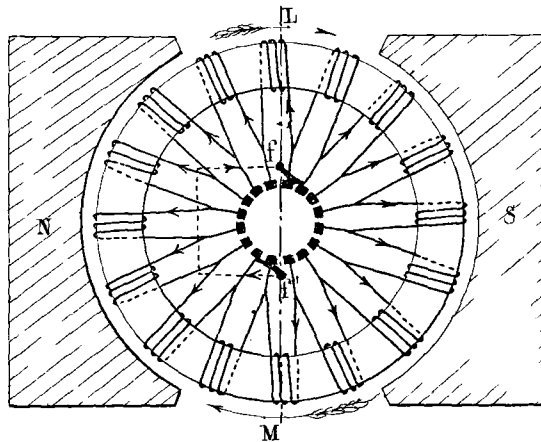


Fig. 135.

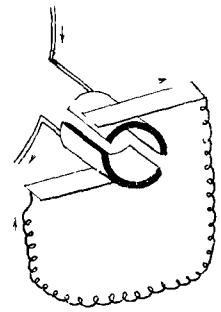


Fig. 136.

alternatifs ; si les extrémités des fils de ces bobines sont reliées à une série de portions d'un même anneau isolées les unes des autres (fig. 135) et constituant le commutateur redresseur ou collecteur, on se trouve en présence d'une machine à courants continus

Enfin pour augmenter la force électromotrice du courant d'induction, on constitue l'anneau sur lequel sont enroulées les bobines avec du fer doux. L'ensemble de cet anneau en fer doux et des bobines qui sont enroulées sur lui constitue ce que l'on appelle l'induit de la machine.

Classification des machines qui produisent des courants d'induction.

L'inducteur d'une telle machine est constitué par un aimant. Suivant la nature de cet aimant, on divise les machines qui produisent les courants d'induction dont nous venons de parler en :

- 1^o - Machines magnéto-électriques ou Magnétos ; si l'inducteur en acier est un aimant permanent ;
- 2^o - Machines dynamo-électriques ou Dynamos si l'inducteur en fer doux est un électro-aimant.

Au point de vue de l'excitation de ce dernier par un courant convenable, on divise les dynamos en :

- a) - Dynamos à excitation indépendante ;
- b) - Dynamos - série ;
- c) - Dynamos en dérivation ou shunt ;
- d) - Dynamos compound.

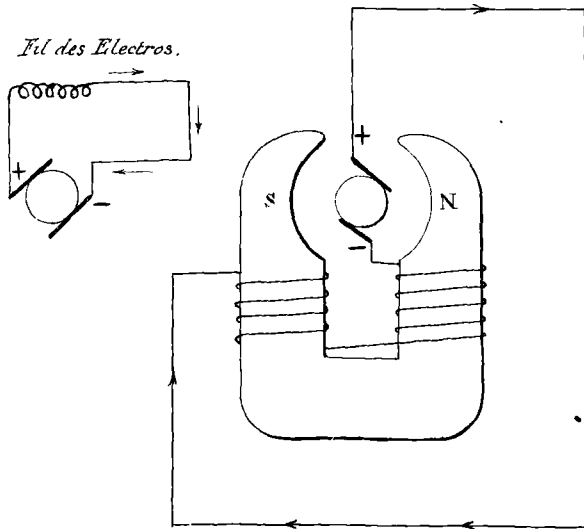


Fig. 137.

Machine dynamo Série.

Le courant qui parcourt le circuit général passe tout entier dans le fil d'excitation des Electro-aimants.

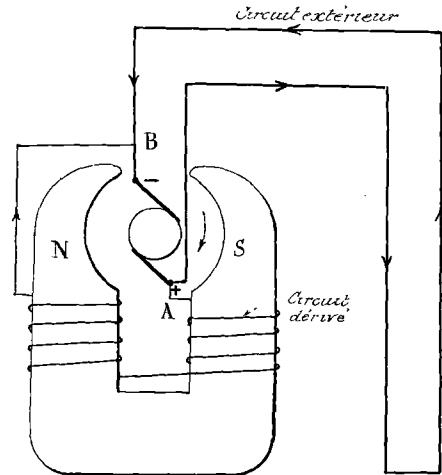
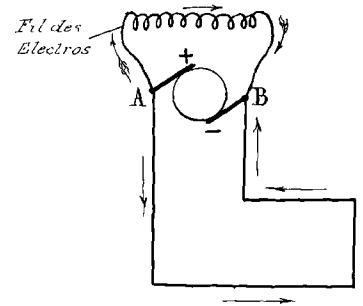


Fig. 138.

Machine Dynamo Shunt.

Le courant qui passe dans le fil d'excitation des Electro-aimants est une dérivation faite aux points A et B sur le circuit extérieur. La dérivation est faite en fil fin.

Machine Dynamo Compound.

Combinaison de la machine Série et de la machine Shunt. Le fil des électros est à double enroulement, le fil fin est une dérivation sur le circuit général et le fil gros fait partie du circuit général.

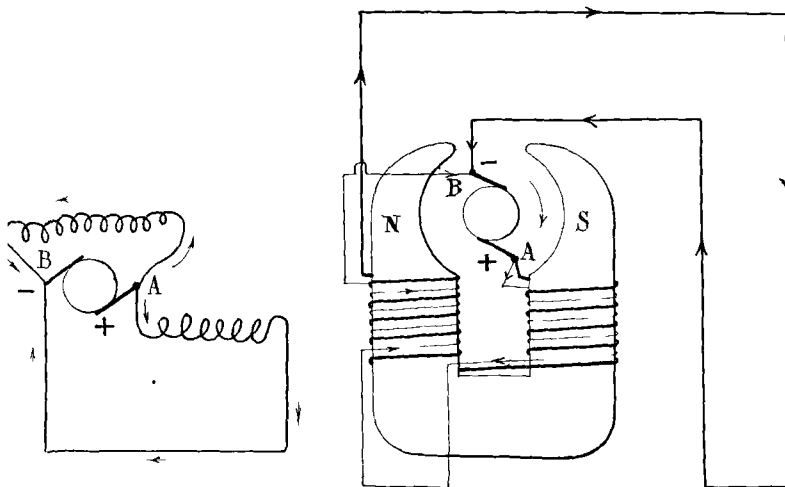


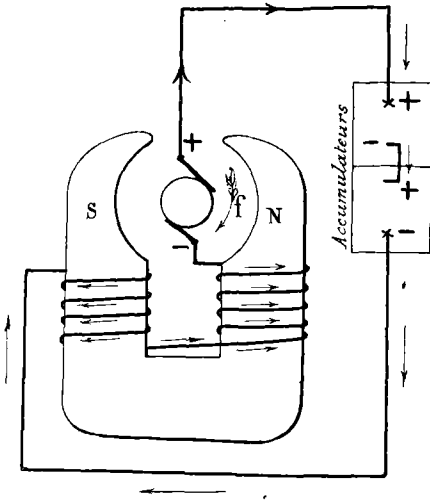
Fig. 139.

Les figures 137, à 139, donnent les schémas de ces machines ainsi que leurs définitions.

Emploi des dynamos-shunt dans les automobiles. Les dynamos d'allumage sont généralement des dynamos-shunt. Par leur disposition même, ces dynamos ont moins de chance d'être brûlés lorsqu'un court-circuit se produit dans le circuit extérieur. En effet, dans ce cas, il ne passe pas de courant dans le circuit dérivé; l'aimantation des électro-aimants est presque réduite à zéro; la force électromotrice du courant d'induction produit par la dynamo diminue très rapidement et l'intensité du courant d'induction n'est pas assez grande pour élever jusqu'à la fusion la température du fil de l'induit.

D'autre part, on sait que la nature des pôles d'un électro-aimant dépend essentiellement du sens dans lequel circule le courant qui produit son aimantation. Si le sens de ce courant vient à changer, les pôles de l'électro-aimant s'inversent. Si la machine continue alors à tourner dans le même sens, elle donne naissance dans le circuit extérieur à un courant de sens inverse au précédent.

Or supposons que la dynamo considérée soit employée à charger des accumulateurs; le courant de charge circule dans un sens convenable dans le circuit extérieur. Supposons que les accumulateurs viennent à se décharger dans la dynamo. Le courant auquel ils donnent naissance est de sens inverse au précédent. Si cette inversion de courant se fait dans les électro-aimants, la machine tournant dans le même sens continue à donner naissance à un courant de sens inverse au courant de charge des accumulateurs et qui détériore ces derniers. C'est ce qui peut arriver dans une dynamo-série, comme le montre la figure 140. Au contraire, un tel accident dû au changement de polarité des électro-aimants ne se produit pas dans les machines shunt comme le montrent les figures 141. Or, comme nous allons le voir, on emploie dans les automobiles concurremment avec une dynamo d'allumage



La dynamo-série tournant dans le sens de la flèche *f* charge les accumulateurs.

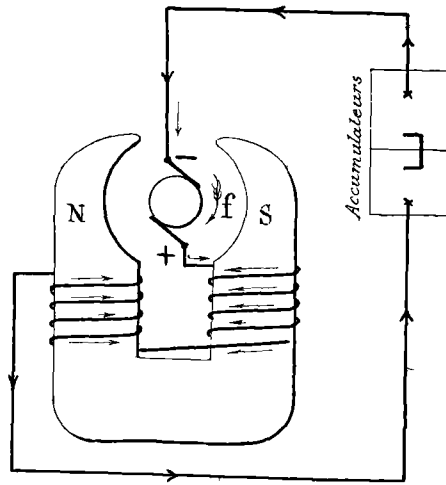


Fig. 140.

Les accumulateurs en se déchargeant dans la dynamo-série changent la polarité des électros, la dynamo tournant toujours dans le sens de la flèche *f* donne naissance à un courant de sens inverse au précédent et qui détériore les accumulateurs.

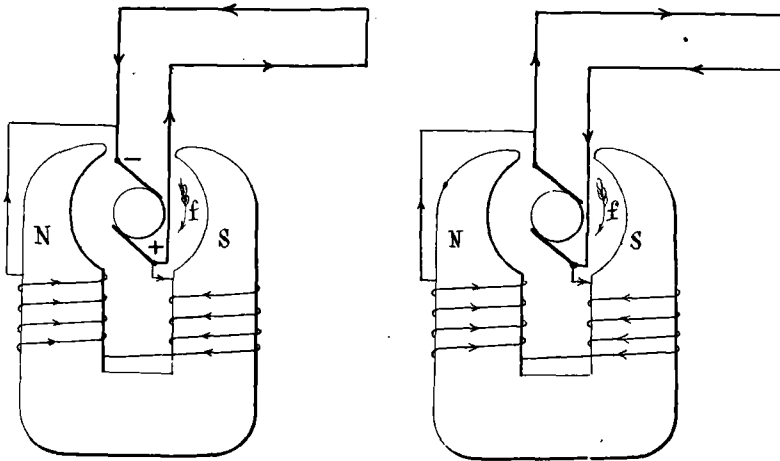


Fig. 141.

Le courant peut momentanément changer de sens dans le circuit extérieur d'une dynamo-shunt sans que le courant change de sens dans la dérivation et par suite sans que la polarité des électros vienne à se modifier.

quelques accumulateurs que l'on charge au moyen de cette dynamo.

Les dynamos-shunt présentent l'inconvénient suivant. Dans une dynamo quelconque, l'intensité du courant produit est proportionnelle à la vitesse de rotation de la machine.

Comme le montre la figure 138, le courant produit par une dynamo-shunt se divise

en deux parties, dont

l'une se propage dans le circuit extérieur et dont l'autre passe dans le fil fin d'excitation des électro-aimants. Si la vitesse de la machine est faible et si le circuit extérieur est peu résistant, le courant d'induction engendré par l'aimantation rémanente des électro-aimants de la machine ayant une faible intensité, passe presque en entier dans le circuit extérieur; la partie de ce courant qui traverse le fil fin des électro-aimants

est trop faible pour exciter ceux-ci. C'est ce que l'on exprime en disant qu'une dynamo-shunt s'excite très difficilement.

Il résulte immédiatement de là que si la vitesse de rotation de la machine est trop faible, on n'a pas un courant dont l'intensité est suffisante pour donner une étincelle d'extra-courant assez chaude pour l'allumage et par suite on a, au départ, des ratés.

Aussi toutes les installations d'allumage par dynamo-shunt comportent-elles des accumulateurs qui servent, au départ, à fournir le courant d'allumage. La figure 142 représente l'installation qui se trouve encore sur quelques voitures Mercedes; nous avons indiqué sur le schéma lui-même les modes de connexion entre la dynamo, les accumulateurs et le circuit contenant une bobine A présentant de la self-induction. On voit que ce schéma comporte trois combinaisons possibles des circuits :

- 1^o - La dynamo n'est employée qu'à produire le courant d'allumage;
- 2^o - Les accumulateurs sont seuls employés à produire le courant d'allumage;
- 3^o - La dynamo charge les accumulateurs et sert en même temps à produire l'allumage.

Une combinaison analogue d'une dynamo-shunt et d'accumulateurs se rencontre dans l'allumage des voitures Lanhard et Lessor (Fig. 143).

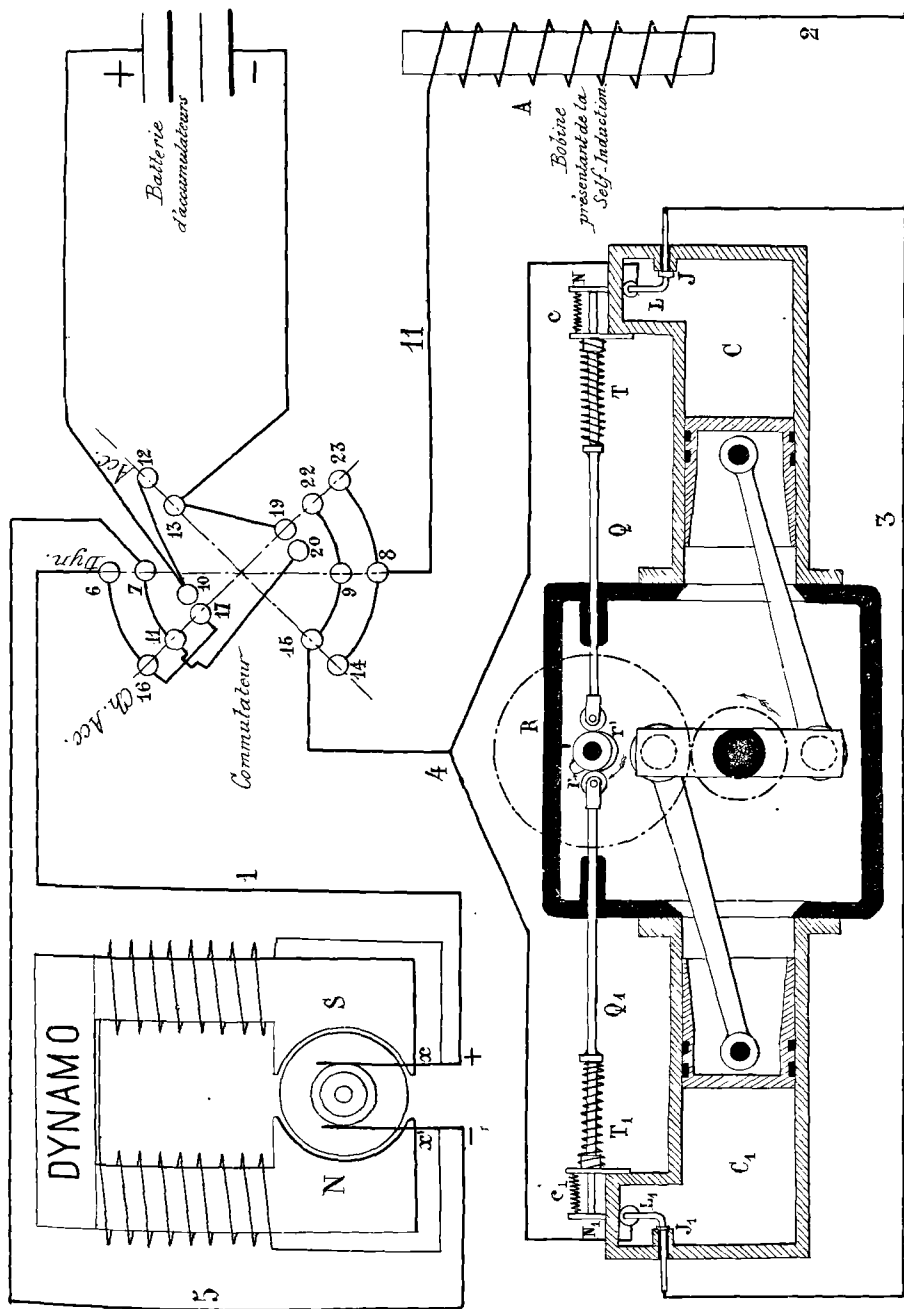
L'interrupteur a trois positions :

- 1^o - Une en B qui correspond au non-fonctionnement, c'est à dire qu'à ce moment ni l'accumulateur ni la dynamo n'a son circuit fermé par la mise à la masse;
- 2^o - Une position en A qui met l'accumulateur seul en circuit puisque son négatif est à la masse; la dynamo n'a pas son circuit fermé, le petit indicateur placé sur le fil allant de l'accumulateur à l'interrupteur indique la décharge de l'accumulateur;
- 3^o - Une position en D qui met la dynamo à la masse, ainsi que l'accumulateur.

Appareil d'allumage électrique Mors.

(Worby Beaumont, Motor Vehicles and Motors.)

Fig. 142.



Nota. — La manette du commutateur se trouve devant la position marquée *Dyn.* Le courant de la dynamo arrive en 6, passe en 8, de la par 11 à la bobine, par 2 et 3 aux contacts *Acc.* Le dynamo est à terre reliée à terre par 7, 9, 15 et le fil 4. Le dynamo sert uniquement à l'allumage.

La manette du commutateur est sur la position marquée *Acc.* Le courant de la dynamo arrive en 6, passe en 8, de la par 14, 12 et 18 à la batterie d'accumulateurs, le courant revient de la batterie d'accumulateurs par 15, 15 et va à la terre par le fil 4, en même temps la dynamo est à terre par 15 lequel communique avec 9 et va à terre. Le dynamo charge les accumulateurs, mais ne sert pas à l'allumage.

La manette du commutateur est sur la position marquée *Ch. Acc.* Le courant de la dynamo arrive en 6. Une partie passe par 16, 23, 8 le fil 11 la bobine A et la terre, l'autre partie de la dynamo est à terre par 7, 21, 22, 9, 18 et le fil 4. Une dérivation de ce courant passe par 16, 17, 18 la batterie d'accumulateurs, 13, 19, 20, 21. Le dynamo charge les accumulateurs et sert à l'allumage.

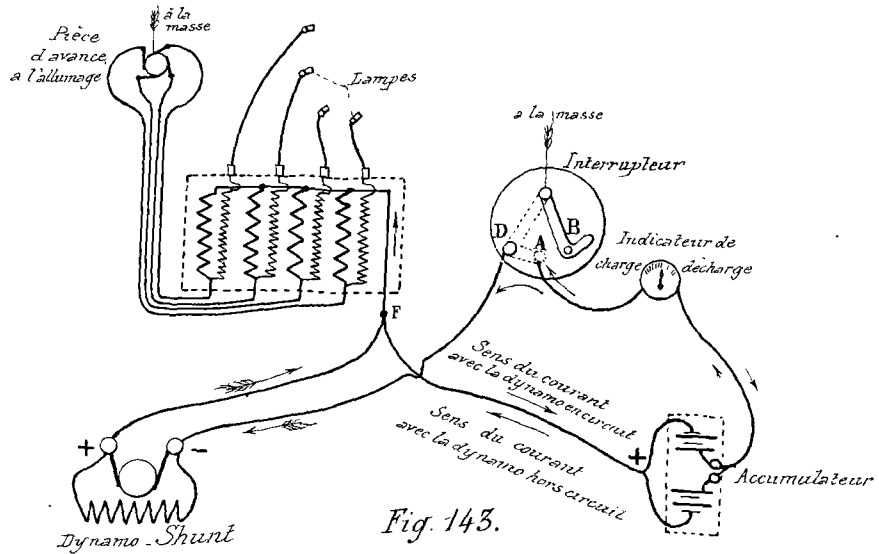


Fig. 143.
Schéma de l'installation de la dynamo d'allumage
Lanhard et Levassor.
(Locomotions 2^e Année - N° 14 p. 9.)

par le doigt en crochet qui réunit les 2 bornes A et D. La dynamo produit un courant qui sert à la fois, à l'allumage et à la charge des accumulateurs, l'indicateur placé sur le fil allant de l'accumulateur à l'interrupteur indique la charge de l'accumulateur.

Emploi des magnétos L'emploi d'une dynamo nécessite, comme nous venons de le voir, dans les automobiles. L'emploi d'accumulateurs susceptibles de fournir, au départ, le courant nécessaire, à l'allumage. Pour supprimer ces accumulateurs et éliminer en même temps les sources de pannes qui résultent de leur emploi, on substitue actuellement les machines magnéto-électriques aux dynamos.

Dans la magnéto que l'on trouve sur les dernières voitures Mors, l'inducteur est fixe et l'induit est mobile. Or ce dispositif d'induit tournant présente de réels inconvénients dans les automobiles. Il n'est pas besoin de redresser le courant puisqu'on ne l'utilise pas à charger les accumulateurs. La machine magnéto fournit un courant alternatif que l'on doit capter au moyen de deux bagues isolées sur l'axe de rotation de l'induit;

sur ces bagues frottent des balais fixes qui amènent le courant au moteur. C'est justement l'emploi de ces pièces à frottement qui rend ce dispositif peu pratique pour les automobiles; il peut en effet se glisser de l'huile entre le balai et la bague de frottement et le contact électrique devient mauvais.

La magnéto Simms-Bosch.

La maison Simms-Bosch a donné à cette production de courant d'allumage par une magnéto la solution élégante qui suit:

On laisse fixes l'inducteur et l'induit; mais on fait tourner entre l'inducteur et l'induit une sorte de volet formé de deux secteurs en fer doux qui sont opposés l'un à l'autre comme le montre la figure 144.

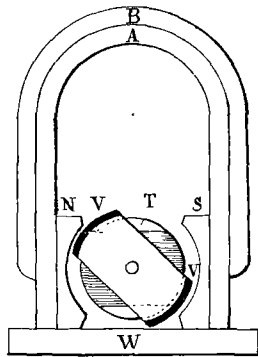


Schéma du dispositif
Simms-Bosch.

T, Induit fixe.

V, Volet rotatif en fer doux.

Fig. 144

L'induit fixe I en fer doux a la forme d'un H renversé sur la barre centrale duquel on a enroulé une bobine B (fig. 145. N° 1).

Nous pouvons, de la manière suivante, nous rendre compte de la production des courants d'induction dans la bobine B. La pièce de fer doux formée des deux ailes désignées par A₁ et A₂ dans la figure 145, se comporte comme un véritable aimant à aimantation variable qui se déplace en présence du circuit fermé constitué par la bobine B. Les variations de l'aimantation de

cette pièce de fer doux, son déplacement ainsi que les variations de l'aimantation de la pièce I qui en sont la conséquence, donnent dans la bobine B naissance à des courants d'induction.

Comment varie la force électromotrice de ce courant d'induction? La forme adoptée pour l'ensemble de la pièce I et des deux pôles N et S nous montre que le système présente deux plans de symétrie XY et XY' (fig. 145 N° 2) divisant le système en 4 secteurs opposés deux à deux par le sommet.

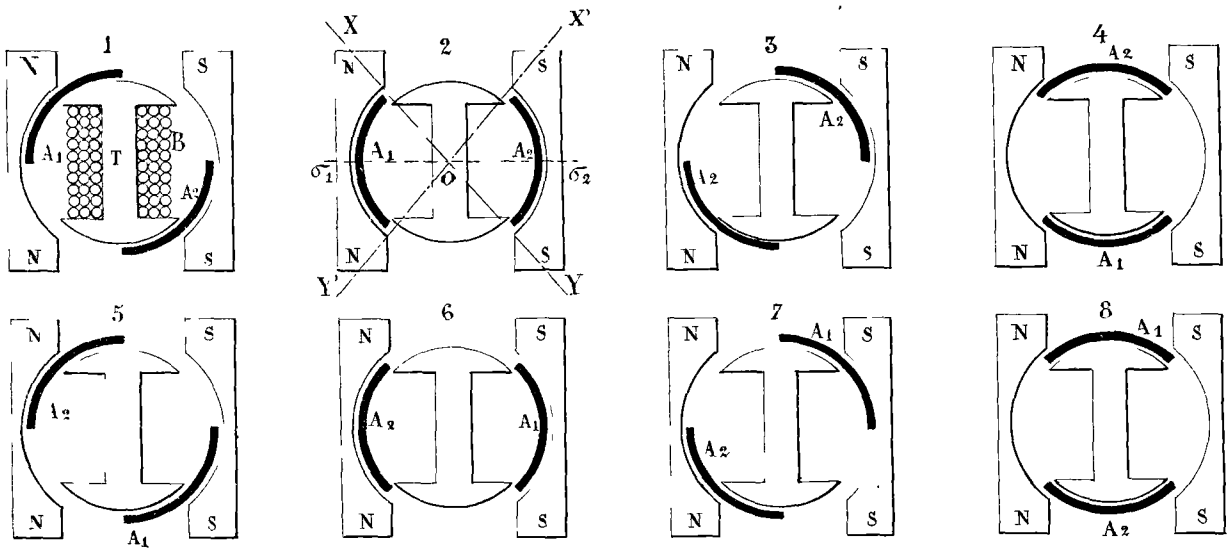


Schéma indiquant les huit positions principales des volets pour produire quatre maxima et quatre minima de force électromotrice d'Induction en un tour complet.

(Locomotion. 2^e Année. N° 61. p. 760.)

Fig. 145.

Considérons le plan $\sigma_1\sigma_2$ qui passe par le milieu des secteurs A_1 et A_2 et qui tourne avec eux. La symétrie même du système nous conduit à énoncer les propositions suivantes :

1^o - Tant que les deux parties $O\sigma_1$ et $O\sigma_2$ du plan $\sigma_1\sigma_2$ se déplacent dans un des secteurs formés par les plans XY et $X'Y'$, le courant d'induction dans la bobine B varie d'intensité mais non de sens

2^o - Quand le plan $\sigma_1\sigma_2$ passe par les positions $XY, X'Y'$, le courant induit dans la bobine B change de sens en passant par zéro.

La figure 145 montre dès lors très nettement que dans une révolution complète du volet A_1A_2 , l'intensité ou la force électromotrice du courant d'induction passe quatre fois par zéro et quatre fois par son maximum. Rien ne distinguant les deux secteurs de fer doux A_1 et A_2 , les variations de la force électromotrice d'induction qui correspondent aux positions 5, 6, 7, 8 sont les mêmes que celles qui correspondent

aux positions 1, 2, 3, 4. Or la force électromotrice d'induction s'annule lorsque le volet se trouve dans les positions 1 et 3; elle est maximum lorsqu'il se trouve dans les positions 2 et 4.

Preons deux axes de coordonnées; sur l'axe des abscisses portons des longueurs représentatives des angles du plan σ_1, σ_2 avec le plan XY par exemple, et sur l'axe des ordonnées portons des longueurs proportionnelles aux valeurs de la force électromotrice du courant d'induction engendré dans la bobine B. Nous obtenons la disposition de la figure 146 dans laquelle les numéros inscrits au voisinage de la courbe corres-

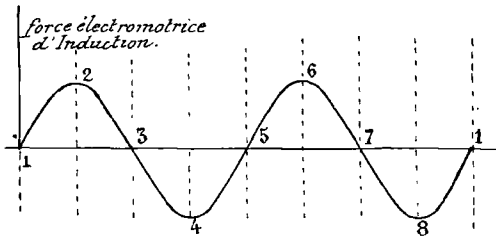
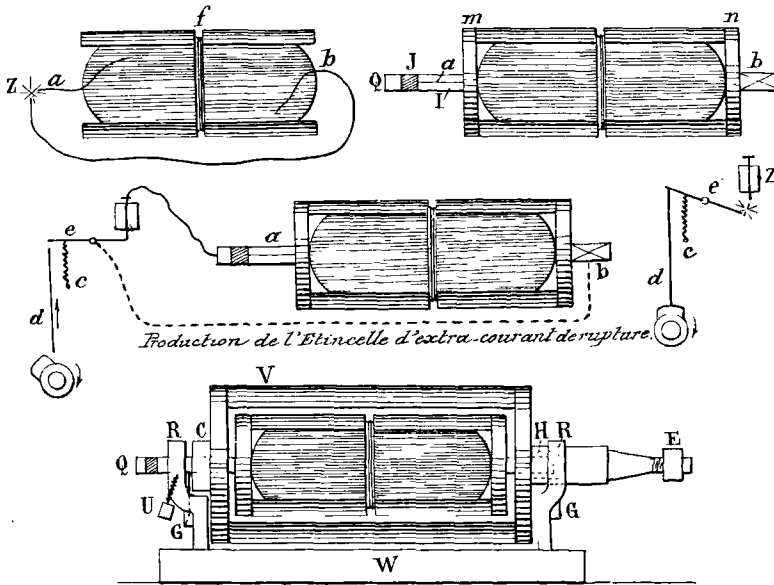


Fig. 146

pondent aux diverses positions de la figure 145.

La figure 147 représente le schéma du montage de l'induit et du volet dans la magnéto Simms-Bosch. L'induit est monté sur deux



- b, Extrémité du fil de l'induit noyée dans le fer et prenant contact à la masse.
- I, Tourillon creux.
- a, Autre extrémité du fil de l'induit passant à l'intérieur de I.
- J, Bague d'ébonite
- Q, Butée isolée de la masse par J et reliée au fil a.

- G, H, Flasques réunissant les deux axes du volet EV.
- E, Pignon qui transmet au volet le mouvement du moteur
- R, R', Contre-forts en bronze.
- W, Socke de bronze.

Schéma du montage de l'induit et du volet dans la Magnéto Simms-Bosch.
(Locomotion 2^e Année N° 61 p. 57.)

Fig. 147.

tourillons à flasques M et N; l'extrémité B du fil de cet induit, noyée dans le fer prend ainsi contact à la masse. L'autre extrémité A, bien isolée, traverse le tourillon creux I jusqu'à la butée Q qui amène le courant à la borne de fil de bougie. Une bague d'ébonite J isole cette butée du reste de la masse. Quant au tourillon B, il porte une patte d'araignée destinée au graissage de la douille, qui va venir se monter sur lui pour porter le volet tournant.

Derrière l'induit et tournant autour de lui, est monté un volet V. Les deux ailes sont réunies entre elles par deux flasques C et H, dont l'une C a une portée juste assez longue pour former palier sur l'axe immobile de l'induit et dont l'autre H se termine par un arbre qui, conique à son extrémité E, reçoit le pignon qui transmet au volet le mouvement du moteur.

Les contreforts R, R en bronze (métal non magnétique) montés eux-mêmes sur le socle de bronze W, supportent l'ensemble de l'appareil. Une vis U terminée par une pointe pince l'arbre de l'induit afin qu'on soit certain qu'il ne se déplace pas.

La figure 148 représente l'installation complète de l'allumage au moyen de la magnéto Simma - Bosch.

Figure 148.

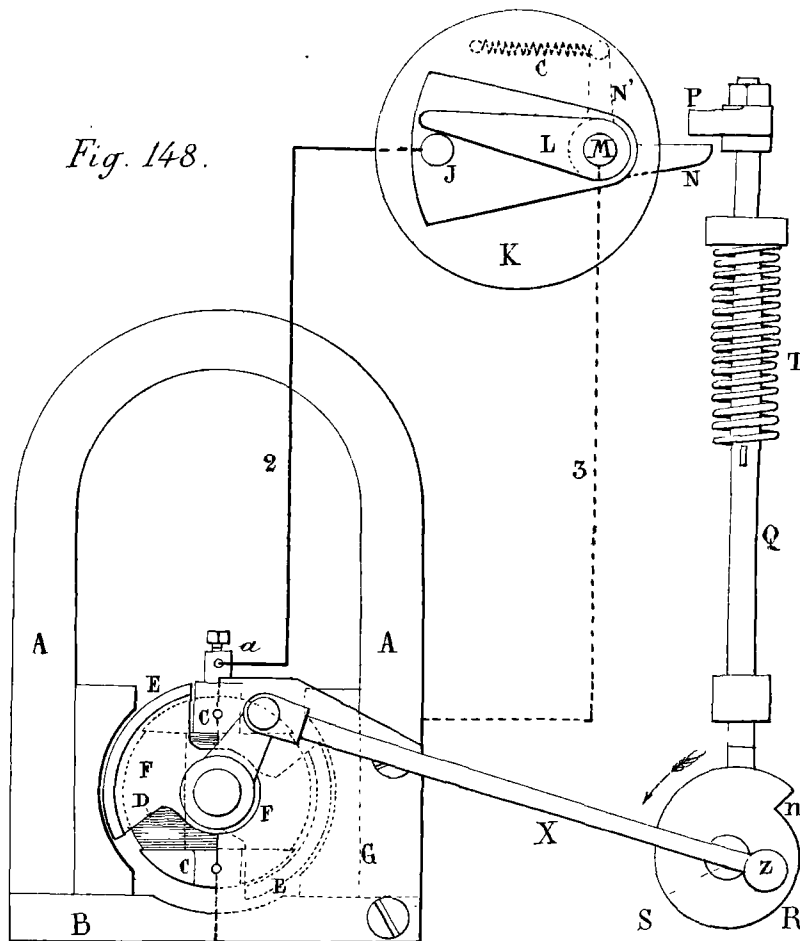


Fig. 148.

Schéma de la Magnéto Simms-Bosch et de l'appareil d'allumage.
(Worby-Beaumont. Motor Vehicles and Motors.)

- | | |
|--|------------------------|
| A, Aimants permanent en fer à cheval. | EE, Volets de fer doux |
| B, Pièce de Bronze fondu. | F, Disque de bronze. |
| C, Noyau en fer doux en forme d'H | H, Manivelle |
| D, Bobine qui entoure le noyau C, une extrémité aboutit à la borne isolée a et l'autre extrémité est reliée au noyau de fer doux et par suite au moteur et à la terre. | X, Bielle |
| | R, Came |

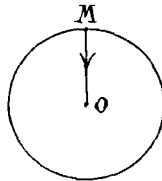
Chapitre IV.

Equilibrage des moteurs en général et plus particulièrement des moteurs à explosion.

§^e 1^{er} - La force centrifuge - Ses effets.

Accélération d'un mobile animé
d'un mouvement circulaire uniforme.

Considérons un mobile de poids P , assujéti à prendre un mouvement circulaire uniforme. Si v est la valeur constante de la vitesse de ce mouvement et si R est le rayon de la circonférence parcourue par le mobile, l'accélération γ du mouvement de ce mobile à un instant donné est une grandeur dirigée de M vers le centre O du cercle et égale à



$$(1) \quad \gamma = \frac{v^2}{R}$$

Si ω est la vitesse angulaire constante de rotation du mobile et si N est le nombre de tours par minute qu'il fait autour de l'axe projeté en O , la vitesse v prend l'une des valeurs:

$$v = \omega R$$

$$v = \frac{2\pi N}{60} \times R$$

et l'accélération γ , l'une des valeurs:

$$(2) \quad \gamma = \omega^2 R$$

$$(3) \quad \gamma = \left(\frac{2\pi N}{60}\right)^2 \times R$$

Désignons par M la masse du corps, c'est à dire le quotient $\frac{P}{g}$ de son poids par l'accélération due à la pesanteur, le produit $M\gamma$ de cette masse par son accélération à un instant donné dans le mouvement circulaire, représente à cet instant la valeur de la force qu'il est nécessaire de lui appliquer pour la maintenir sur sa trajectoire.

Force centripète.

Cette force dirigée du point M vers le centre O reçoit le nom de force centripète. Elle est, à un instant donné, la résultante des forces qui agissent réellement sur le mobile animé d'un mouvement de

Principe
de d'Alembert.

rotation circulaire uniforme.

D'autre part, on énonce au début de la Dynamique un principe général connu sous le nom de principe de d'Alembert et qui est le suivant :

Considérons à un instant donné un corps en mouvement, réduit par la pensée à un point matériel, et les forces qui, à cet instant, agissent réellement sur lui; on peut appliquer à ce corps les théorèmes relatifs aux corps en état d'équilibre à la condition d'ajouter, aux forces réellement agissantes une force fictive égale à $(-My)$, y étant, à l'instant considéré, l'accélération du mobile réduit à un point.

En d'autres termes, il y a équilibre, à l'instant considéré, entre les forces réellement agissantes et la force $(-My)$.

Cette force $(-My)$ qu'il faut ajouter aux forces réellement agissantes pour qu'on puisse appliquer aux corps en mouvement les propositions qui ne sont vraies que pour les corps en repos, reçoit le nom de force d'inertie.

Ce principe peut se généraliser et s'appliquer à des corps de dimensions finies, contigus les uns aux autres et soumis à des liaisons variées.

Prenez un tel système mécanique formé de deux points matériels ou de corps continus et divisons ceux-ci en éléments de volume. À chaque point ou à chaque élément, nous pourrions imaginer que l'on applique une force d'inertie. Dirigée en sens contraire de l'accélération du point ou de l'élément, elle aura pour mesure le produit de cette accélération par la masse de ce point ou de cet élément.

À chaque instant l'ensemble des forces qui agissent réellement sur le système et des forces fictives d'inertie serait capable de maintenir le système en équilibre dans l'état même qu'il présente à cet instant.

Force centrifuge.

Faisons des applications de ce principe au cas particulier qui nous intéresse ici, d'un mobile assujéti à se mouvoir sur une circonférence d'un mouvement uniforme.

L'accélération γ de ce mobile étant donnée par l'une ou l'autre des formules (1) à (3), la force fictive d'inertie, qui, appliquée en même temps que les forces réellement agissantes, maintiendrait le mobile en équilibre à un instant donné, est égale à :

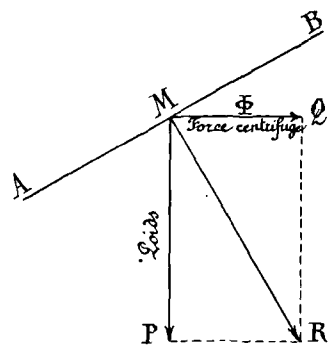
$$\Phi = -M\gamma = -M\omega^2 R$$

Cette force fictive qui est égale et directement opposée à l'accélération du mobile ou à la force centripète a reçu le nom particulier de force centrifuge. Cette force fictive est donc une force dirigée du centre O vers le mobile M , d'où le nom qui lui a été donné.

Relèvement des virages

dans les vélodromes.

Considérons un cycliste qui, dans un vélodrome, aborde un virage. Il est soumis, à un instant donné de son mouvement, à un ensemble de forces réelles telles que la pesanteur, la résistance de l'air, etc..... Exprimons que ce cycliste est en équilibre à cet instant sous l'action de ces forces et de la force fictive d'inertie, à laquelle nous venons de donner le nom de force centrifuge. Si nous supposons toutes ces forces appliquées au centre de gravité du système formé par le cycliste et sa machine, la résultante de ces forces doit, pour l'équilibre, être normale à la surface du vélodrome. Cette surface du virage doit, donc faire un certain angle avec le plan horizontal, angle qui doit être d'autant plus grand que la vitesse angulaire de rotation ou la force centrifuge est plus considérable. On se rend facilement compte de cette condition imposée à la direction d'un virage en supportant le système soumis uniquement, à l'action de la pesanteur MP et de la force centrifuge $\Phi = MQ$. La résultante MR de ces deux forces, obtenue par la règle du parallélogramme des forces, doit être normale à la direction AB du virage; si la force centrifuge va en croissant, la résultante MR se rapproche de l'horizontale.



et la surface AB de la verticale. Il en résulte que si un cycliste tourne suffisamment vite, il peut arriver à se maintenir sur une paroi de plus en plus voisine de la verticale. C'est ainsi que si on veut, comme au vélodrome de Buffalo à Paris, effectuer des vitesses de 90 kilom. à l'heure (à moto-cyclette) avec des virages de 30 mètres de rayon, on est obligé de donner à ces virages une pente de 72%.

Le « Looping the Loop »

Supposons maintenant que la piste circulaire soit dirigée verticalement comme dans l'exercice connu sous le nom de *Doublage de la Boucle* ou « Looping the Loop ». Le cycliste doit pouvoir être considéré comme étant, en chaque point de cette boucle, maintenu en équilibre sous l'action de la pesanteur, de la résistance de l'air et de la force centrifuge, c'est à dire que sa vitesse doit être suffisante pour que la résultante de ces forces soit normale à la piste et dans un sens tel que la bicyclette soit maintenue appliquée contre la paroi. Dans ces conditions le cycliste peut parcourir la boucle sans danger; il peut même, à un moment donné, se trouver la tête en bas sans s'exposer à une chute.

Cherchons à nous rendre compte de la vitesse que doit avoir le cycliste pour qu'il en soit ainsi, c'est à dire demandons-nous quelle doit être la grandeur de la force centrifuge qui doit ainsi faire équilibre à chaque instant à la pesanteur et à la résistance de l'air.

On sait que l'expérience comprend deux phases. ⁽¹⁾

Dans la première phase, le cycliste se laisse couler, en roue folle (c'est à dire sans pédaler) le long d'une rampe rapide de 34 mètres de longueur, en faisant une descente vertigineuse de 14 mètres suivant la verticale.

⁽¹⁾ Voir: C. Boulet. Looping the loop. (La vie au grand air. 2^{me} année. N° 236. 21 Mars 1903).
E. Hospitalier. La Mécanique du « Looping the loop » (Locomotion. 3^{me} année. N° 76. 12 Juin 1903)

Cette première période n'a pour effet que de lui donner de l'élan.

Au bas de la rampe, il s'engage dans une boucle qui est une spire à hélice; la force centrifuge entre en jeu et, grâce à la rapidité de la rotation, elle est assez grande pour contrebalancer l'effet de la pesanteur qui tend à faire tomber le cycliste.

Analysons maintenant les deux phases.

On démontre, en mécanique, que, lorsqu'un corps pesant tombe d'une hauteur h dans le vide, sa vitesse, au bas de la chute est égale à $\sqrt{2gh}$, qu'il tombe verticalement ou suivant une rampe inclinée, pourvu que h désigne la hauteur de chute comptée suivant la verticale. Si donc, dans la première phase, le cycliste était dans le vide, il arriverait au bas de la rampe avec la vitesse de $\sqrt{2 \times 9,8 \times 14} = 16,5$ à la seconde. Cela ferait du 59 kilomètres à l'heure environ.

Mais en pratique, cette vitesse limite théorique est réduite :

- 1° - par les frottements propres de la bicyclette;
- 2° - par la résistance de l'air;
- 3° - par l'inertie des roues, la bicyclette n'étant pas un corps rigide qui glisse sans frottement le long du plan incliné comme le suppose la formule $v = \sqrt{2gh}$. ⁽¹⁾

Dès lors, on peut estimer la vitesse réelle maxima du cycliste à la fin de la première phase, à 47 km. à l'heure (13 m. à la seconde). ⁽²⁾

(1) La grandeur du terme de correction qui tient compte du mouvement de rotation des roues dépend de la grandeur du moment d'inertie de ces roues par rapport à leur axe de rotation par exemple; il conviendrait pour que ce terme soit négligeable, d'avoir des roues qui n'aient pas un grand moment d'inertie et qui par suite ne soient pas trop lourdes.

(2) Supposons qu'on ne tienne compte que de la résistance de l'air et qu'on suppose cette résistance proportionnelle au carré de la vitesse et égale à $0,03 v^2$; l'équation des forces vives donne :

$$\frac{d.v^2}{dx} + \frac{0,06g}{P} v^2 - 2g \cos \alpha = 0 \quad \text{dont}$$

On voit que les causes de ralentissement que nous venons d'indiquer ne sont pas négligeables, puisqu'elles réduisent la vitesse d'au moins 12 km. à l'heure.

Passons à la seconde phase.

Le cycliste pénètre dans la boucle à la vitesse de 47 km. à l'heure et monte. Si on tient compte de la résistance de l'air, du poids du cycliste et de la machine, on trouve que, lorsque le cycliste a tourné d'un angle θ , sa vitesse est donnée par la formule : ⁽²⁾

$$(4) \quad v^2 = -\frac{2gR}{1+a^2} (a \sin \theta - \cos \theta) + \left(v_0^2 - \frac{2gR}{1+a^2} \right) e^{-a\theta}$$

dans laquelle on a :

$$a = \frac{0,06Rg}{P}$$

R étant le rayon du cercle décrit par le centre de gravité et v_0 la vitesse d'entrée dans la boucle.

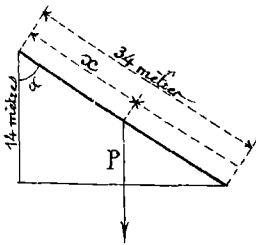
Calculons, d'après cela, la vitesse du cycliste au haut de la boucle.

Le rayon du cercle décrit par le centre de gravité du cycliste est 2^m,50, car la piste a 7^m,00 de diamètre et comme le centre de gravité est à 1^m,00 au-dessus, le rayon de la circonférence qu'il décrit est de :

$$3,50 - 1,00 = 2,50$$

(Suite du renvoi de la page précédente)

dans l'intégrale est, en tenant compte de a que $v = 0$ pour $x = 0$,

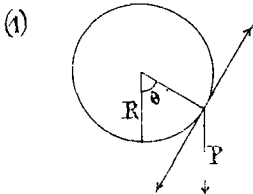


$$v = \sqrt{\frac{P \cos \alpha}{0,03} \left[1 - e^{-\frac{0,06gx}{P}} \right]}$$

d'où pour la vitesse à l'entrée de la boucle,

$$P = 100 \text{ kilog.} \quad \cos \alpha = \frac{14}{34} \quad x = 34 \quad e = 2,71828.$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{70.000}{51} \left[1 - e^{-0,2} \right]} = 13 \text{ mètres par seconde.}$$



L'équation des forces vives donne, si on compte les angles θ à partir de la verticale,

$$\frac{dv^2}{d\theta} + \frac{0,06Rg}{P} v^2 + 2gR \sin \theta = 0.$$

Donc $R = 2,5$ $g = 9,8$ $P = 100 \text{ kg}$. $v_0 = 13$ $c = 2,71828$ $\theta = \pi = 3,1416$ $\alpha = 0,0147$

On en conclut :

$$v^2 = -49 + 120 e^{-0,0147\pi} = 65,6$$

Donc $v = 8^{\text{m}},1$ à la seconde, c'est à dire que la vitesse de passage au haut de la boucle est environ au maximum de 29 kilom. à l'heure. La force centrifuge développée est alors :

$$\frac{Pv^2}{gR} = \frac{100 \times 65,6}{9,8 \times 2,5} = 267 \text{ kilog.}$$

Or ces 267 kg. sont largement suffisants pour maintenir le cycliste et sa machine, qui ne pèsent ensemble que 100 kg. Il reste encore 167 kg. disponibles de pression, de telle sorte que le cycliste adhère encore plus à la piste, à ce moment, que s'il roulerait sur le sol.

Pour avoir la vitesse de sortie de la boucle, il faut faire dans la formule précédente $\theta = 2\pi$. On trouve, tous calculs faits, $v = 12^{\text{m}},3$ par seconde, ce qui fait environ 44 km. à l'heure. Le cycliste n'a donc perdu que 3 km. sur sa vitesse d'entrée. Il aurait donc une vitesse largement suffisante pour pouvoir doubler encore une ou deux boucles pareilles.

Toute cette théorie suppose que le système formé par le cycliste et sa bicyclette est un corps parfaitement rigide. Il convient en particulier, pour se rapprocher de ces conditions idéales, que le cycliste puisse suivre la piste sans jamais donner un coup de guidon. Il faut donc que la piste soit établie de telle sorte qu'une fois le cycliste lancé, il n'ait plus qu'à se laisser filer sans faire aucun mouvement pour passer la boucle sans encombre. Pour cela, il suffit que la piste soit telle que, si on la déroulait sur le sol, on obtienne une ligne droite. En d'autres termes, il faut que les rampes d'arrivée et de sortie soient tangentes aux extrémités de la spire d'hélice qui constitue la boucle.

Pour terminer cette étude, faisons une dernière remarque. A la sortie de la boucle, le cycliste a une vitesse de 42 km. à l'heure et il est soumis à une force centrifuge de 646 kgr. Or lorsqu'il sort de la boucle pour entrer dans la rampe de sortie, cette force disparaît brusquement. La pression sur la piste diminue subitement de 646 kgr. La suppression a d'abord lieu sur la roue d'avant et ensuite sur la roue d'arrière. A l'instant même de la sortie, la roue d'avant se trouve déchargée de plus de 300 kgr. qui se portent vers l'arrière. Cette roue doit donc avoir de fortes tendances à se soulever et le cycliste à faire bascule. C'est là un danger sérieux qu'il serait facile de faire disparaître en donnant une forme spéciale à la rampe de sortie, de façon que sa courbure diminue graduellement et que la force centrifuge décroisse insensiblement, au lieu de s'annuler brusquement.

En résumé, les conditions principales indiquées par la théorie pour la réussite de l'expérience du doublage de la boucle sont les suivantes

1^o - Bicyclette bien équilibrée, très solide, lourde et non pourvue de pneumatiques;

2^o - Cycliste léger et de petite taille.

Ces conditions sont dictées par la nécessité d'éviter les réactions nuisibles que pourraient produire les légers déplacements du cycliste ou de la machine, qui ne doit pas pouvoir décapoter sous l'influence d'un éclatement des pneumatiques.

3^o - Ligne rationnelle dont la ligne médiane ne comporte aucun virage brusque de façon à éviter tout guidonnage et dont les raccordements des courbures soient progressifs afin d'éviter les réactions pénibles et même dangereuses pour le cycliste à chaque changement brusque de courbure.

Importance du problème de l'équilibre des moteurs. Nous venons d'étudier quelques-uns des effets de la force centrifuge. Or dans les moteurs, nous trouvons des organes tels que les

manivelles qui sont animés d'un mouvement de rotation autour d'un axe et des organes tels que le piston, la tige, qui sont animés d'un mouvement rectiligne alternatif. Il est évident que les forces d'inertie sont susceptibles de produire dans ces pièces des effets qui se traduisent par des déformations d'autant plus considérables que les forces d'inertie sont plus grandes et par suite que la vitesse est plus considérable.

Aussi le problème qui consiste à rechercher des méthodes permettant de diminuer ou d'annuler ces effets des forces d'inertie est-il l'un des plus importants qui se posent actuellement depuis l'augmentation constante de la vitesse de rotation. C'est ce problème dit de l'Equilibrage des moteurs que nous nous proposons maintenant de traiter.

Couples de forces. Leurs propriétés.

Mais avant de rechercher les solutions de ce problème, nous croyons nécessaire de rappeler en quelques mots les propriétés des couples de forces, propriétés dont nous allons constamment faire usage.

Un couple de forces est un ensemble de deux forces parallèles, égales et directement opposées.

La perpendiculaire commune aux deux forces du couple s'appelle le bras de levier du couple et la longueur de cette perpendiculaire est la longueur du bras de levier.

Le moment d'un couple est le produit de la grandeur de l'une des forces du couple par la longueur du bras de levier.

Ce moment qui est une grandeur affectée d'un signe est caractéristique d'un couple.

On démontre, en effet, le théorème suivant.

Théorème. Quelle que soit la manière dont on modifie la direction des forces d'un couple dans son plan, le moment de ce couple garde toujours une valeur constante.

Considérons le plan d'un couple et une normale AB à ce plan (Fig. 1). Supposons qu'un observateur ayant les pieds en A et la tête en B ,

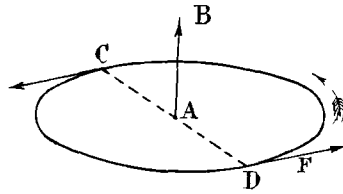


Fig. 1.

voit les forces du couple tendre à faire tourner le bar de levier CD dans le sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre.

Si nous prenons la longueur AB égale au moment du couple, c'est à dire au produit $F \times CD$, nous disons que la grandeur dirigée

AB ou le vecteur AB représente l'axe du couple.

Composition des couples. Pour composer des couples, on remplace chacun d'eux par son axe et on compose les axes des couples comme des grandeurs dirigées ou comme des forces.

Nous allons, dans les paragraphes suivants, rencontrer couramment des applications de ces propositions.

§ 2. - Equilibrage des masses animées d'un mouvement de rotation autour d'un axe.

Equilibrage d'une seule masse au moyen d'une autre masse dont le centre de gravité est dans le même plan de rotation que le centre de gravité de la masse à équilibrer

Considérons une masse M_1 (Fig. 2) dont le centre de gravité est dans le plan G normal en O, à l'axe de rotation AA_1 . En tournant autour de cet axe, la masse M_1 est soumise à une force centrifuge Φ_1 , dirigée de l'axe vers la masse M_1 et dont la grandeur est, en supposant la masse M_1 concentrée en son centre de gravité :

$$\Phi_1 = M_1 r_1^2 \omega^2$$

formule dans laquelle ω est la vitesse angulaire de rotation de l'arbre et r_1 la distance à l'axe de rotation de l'arbre du centre de gravité de la masse M_1 .

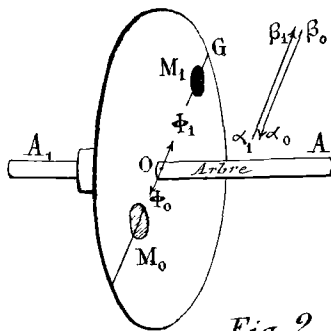


Fig. 2.

Dans le même plan G, supposons concentrée en un certain point une masse M_0 telle que la force centrifuge à laquelle cette masse M_0 est soumise soit égale et opposée à la force Φ_1 .

Désignons cette nouvelle force par

$$\Phi_0 = M_0 r_0 \omega^2$$

r_0 étant la distance à l'axe de rotation de l'arbre du centre de gravité de la masse M_0 . Si cette force Φ_0 est égale et opposée à la force Φ_1 , on a :

$$\Phi_0 + \Phi_1 = 0$$

ou : $(M_1 r_1 + M_0 r_0) \omega^2 = 0$

et, par suite puisque ω n'est pas nul :

$$(1) \quad M_1 r_1 + M_0 r_0 = 0$$

Les deux forces Φ_0 et Φ_1 étant égales et directement opposées se font équilibre.

On exprime ce fait en disant que le système des deux masses M_0 et M_1 constitue un système équilibré au point de vue des forces centrifuges.

La force centrifuge Φ_1 est appelée la force centrifuge à équilibre et la force Φ_0 reçoit le nom de force centrifuge d'équilibrage.

La condition (1) nous indique de quelle manière on doit choisir la masse M_0 et la distance r_0 de son centre de gravité à l'axe pour que le système soit équilibré.

Si sur une droite, on porte une longueur $\alpha, \beta_1 = M_1 r_1$ dirigée dans le sens de l'action de la force centrifuge à laquelle est soumise la masse M_1 , il faut pour l'équilibre que $M_0 r_0$ représente la longueur d'un segment α, β_0 égal à α, β_1 et dirigé en sens inverse.

La grandeur et la direction de la force d'équilibrage sont aussi parfaitement déterminées.

En particulier, on voit que si $r_0 = r_1$, on doit avoir $M_0 = M_1$.

Deux masses égales dont les centres de gravité sont sur un même diamètre et à une même distance de l'axe de rotation sont deux masses équilibrées au point de vue des forces centrifuges. C'est pour cette raison que les poulies de transmission ont un nombre pair de bras,

symétriquement disposés, et que les jantes sont de même épaisseur tout autour de l'axe.

Equilibrage, au moyen d'une troisième masse, de deux masses reliées invariablement l'une à l'autre, les centres de gravité de ces trois masses étant dans le même plan de rotation.

Considérons maintenant deux masses M_1 et M_2 (Fig. 3) reliées invariablement l'une à l'autre et dont les centres de gravité sont dans un même plan normal à l'axe de rotation. Les forces centrifuges Φ_1 et Φ_2 auxquelles ces masses

sont soumises ont les directions indiquées sur la figure 3 et les grandeurs $\Phi_1 = M_1 r_1 \omega^2$ $\Phi_2 = M_2 r_2 \omega^2$

Représentons ces forces en grandeur et en direction par les vecteurs

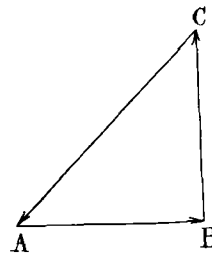
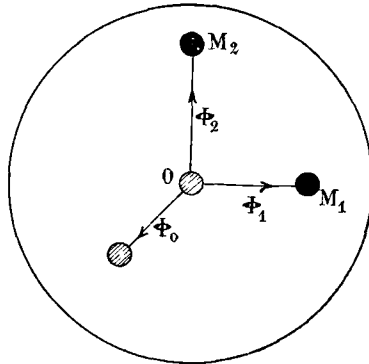


Fig. 3.

AB et BC. Ces deux forces ont une résultante AC obtenue par la règle du parallélogramme des forces. La force CA égale et directement opposée à AC fait par suite équilibre aux deux forces Φ_1 , Φ_2 .

Désignons cette force

CA par Φ_0 ; nous pouvons écrire :

$$\Phi_0 = M_0 r_0 \omega^2$$

c'est à dire, que nous pouvons, dans le plan normal à l'axe de rotation et qui contient les centres de gravité des masses M_1 et M_2 , placer à une distance r_0 de cet axe le centre de gravité d'une masse M_0 telle que la relation précédente soit satisfaite.

Les trois forces Φ_0 , Φ_1 , Φ_2 se faisant équilibre, le système formé des trois masses M_0 , M_1 , M_2 est dit équilibré par rapport aux forces centrifuges.

Nous venons de voir que l'on a :

$$AC = \text{Résultante } (AB + BC)$$

ou $AC = \text{Résultante} [M_1 \omega^2 r_1 + M_2 \omega^2 r_2]$

ou encore $AC = \text{Résultante} [\omega^2 (M_1 r_1 + M_2 r_2)]$

Mais on a : $AC + CA = 0$ et $CA = M_0 \omega^2 r_0$

On voit donc que la composition précédente des forces peut être représentée par les relations :

$$\text{Résultante} [\omega^2 (M_1 r_1 + M_2 r_2)] - AC = 0$$

ou $\text{Résultante} [\omega^2 (M_1 r_1 + M_2 r_2)] + CA = 0$

et par suite : $\text{Résultante} [\omega^2 (M_1 r_1 + M_2 r_2)] + M_0 \omega^2 r_0 = 0$

ce qui peut aussi s'écrire, en remarquant que les trois forces AB, BC et CA se faisant équilibre, leur résultante est nulle,

$$\text{Résultante} [\omega^2 (M_1 r_1 + M_2 r_2 + M_0 r_0)] = 0$$

ou, en remarquant que la vitesse de rotation ω n'est pas nulle,

$$(2) \quad \text{Résultante} (M_1 r_1 + M_2 r_2 + M_0 r_0) = 0$$

Cette dernière équation symbolique a la signification suivante.

Si AB et BC parallèles aux forces Φ_1 et Φ_2 représentent à une échelle déterminée les grandeurs $M_1 r_1$ et $M_2 r_2$, la ligne CA qui ferme le triangle représente à la même échelle la grandeur $M_0 r_0$, c'est-à-dire qu'elle donne à la fois la grandeur et la direction de la force d'équilibre Φ_0 . C'est la construction graphique qui permet d'obtenir cette force d'équilibre.

Équilibrage d'un nombre quelconque

de masses au moyen d'une seule masse, les centres de gravité de toutes ces masses étant dans le même plan de rotation.

Cette méthode permet d'obtenir la force d'équilibre d'un nombre quelconque de masses dont les centres de gravité sont dans le même plan de rotation.

Si les masses à équilibrer ont pour valeurs $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$, et si les centres de gravité de ces masses sont à des distances r_1, r_2, \dots, r_n , de l'axe de rotation, la masse M_0 dont le centre de gravité est à une distance r_0 de l'axe, équilibrera les autres masses au point de vue des forces centrifuges, si ces deux quantités M_0 et r_0 sont choisis de telle sorte que l'on ait l'égalité symbolique :

$$\text{Résultante} [(M_1 r_1 + M_2 r_2 + \dots + M_n r_n + M_0 r_0) \omega^2] = 0$$

ou bien

(3) Résultante $(M_1 r_1 + M_2 r_2 + \dots + M_n r_n + M_0 r_0) = 0$
relation qui a la signification suivante :

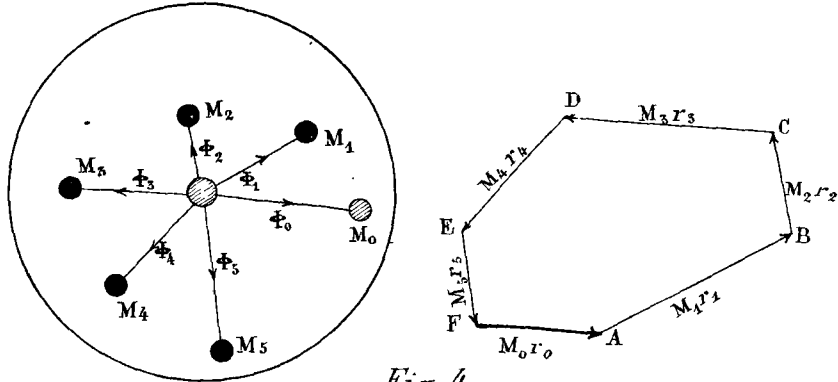


Fig. 4.

Trçons des lignes AB, BC, CD, DE, EF parallèles aux forces centrifuges $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5$ auxquelles sont soumises les masses M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 et égales à $M_1 r_1 (AB), M_2 r_2 (BC), M_3 r_3 (CD), M_4 r_4 (DE), M_5 r_5 (EF)$. Nous construisons ainsi la ligne brisée $ABCDEF$.

On démontre que la ligne AF est, au facteur près ω^2 , la résultante des forces $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ et Φ_5 . La ligne FA , c'est à dire la ligne qui ferme le polygone est donc opposée à la résultante des forces précédentes et sa longueur multipliée par ω^2 donne la grandeur de cette résultante. Or cette ligne FA nous représente la force d'équilibrage du système des masses précédentes.

Application des principes précédents à l'équilibrage d'un vilebrequin. Les principes que nous venons d'exposer nous donnent la marche à suivre pour équilibrer une manivelle.

Appelons P le poids des deux bras de la manivelle et p le poids de la soie de manivelle; la masse rotative à équilibrer est, dans ce cas, $P+p$. Si nous supposons le centre de gravité, placé au milieu du rayon de manivelle, nous pouvons admettre que tout le poids $P+p$ est concentré; ou, ce qui revient au même, que le poids $\frac{1}{2}(P+p)$ est

concentré à l'axe de la soie. La force centrifuge à équilibrer a dès lors pour valeur

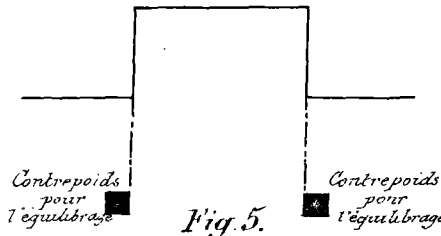
$$\frac{\frac{1}{2}(P+p)}{g} \times \frac{C}{2} \left(\frac{2\pi N}{60}\right)^2 = M_1 r_1 \omega^2$$

en désignant par C la course du piston.

En disposant sur les prolongements des bras de manivelle, comme le montre la figure 5, des masses M_0' et M_0'' à une distance r_0 de l'axe de telle sorte que l'on ait :

$$(M_0' + M_0'') r_0 = \frac{\frac{1}{2}(P+p)}{g} \cdot \frac{C}{2}$$

on obtient l'équilibrage de la manivelle considérée (Fig. 5).



Lorsque l'arbre de rotation porte plusieurs manivelles, on équilibre chacune d'elles comme nous venons de

l'indiquer.

Équilibrage d'une masse au moyen de deux autres masses dont les centres de gravité ne sont pas dans le même plan de rotation que le centre de gravité de la masse à équilibrer.

Jusqu'ici nous avons équilibré une masse ou un nombre quelconque de masses dont les centres de gravité sont dans un même plan de révolution au moyen d'une masse dont le centre de gravité est dans ce plan. Mais il peut être utile dans

certains cas d'équilibrer ces masses au moyen de deux autres dont les centres de gravité sont dans des plans de révolution différents du plan qui contient les centres de gravité des premières masses.

Montrons maintenant comment on peut résoudre ce problème en étudiant d'abord l'équilibrage d'une seule masse.

Considérons un système de trois masses M, M_1 et M_2 dont les centres de gravité sont dans des plans de révolution parallèles et distincts. La masse M étant la masse à équilibrer, cherchons les conditions que doivent remplir les masses M_1 et M_2 pour équilibrer la première.

Les trois masses M, M_1 et M_2 sont liées invariablement entre elles et à l'arbre de rotation de manière que l'ensemble de ces masses et de l'arbre constitue un corps rigide auquel on peut appliquer les théorèmes de la mécanique. Or on sait que toutes les forces appliquées à un corps solide peuvent se réduire à une force passant par un point arbitrairement choisi et à un couple. Dès lors, pour que le système de forces appliqué à ce corps solide soit un système de forces en équilibre, il faut que la force unique résultante soit nulle et qu'il en soit de même du couple résultant ou de l'axe de ce couple.

Appliquons ces propositions aux forces centrifuges auxquelles sont soumises les masses M, M_1 et M_2 . A un instant donné, les 3 forces sont parallèles entre elles et parallèles au plan couvart de hachures (Fig. 6) qui est désigné sous le nom de *Plan axial*. Effectuons la réduction de ces trois forces en les transportant parallèlement à elles-mêmes au point fixe O arbitrairement choisi dans le plan N° II. Le transport de chacune d'elles donne naissance à un couple dont l'axe est perpendiculaire au plan axial. Après le transport au point O des forces centrifuges, nous avons donc : 1° - trois forces situées dans le plan N° II et dirigées suivant une même droite; 2° - trois couples dont les axes sont parallèles entre eux.

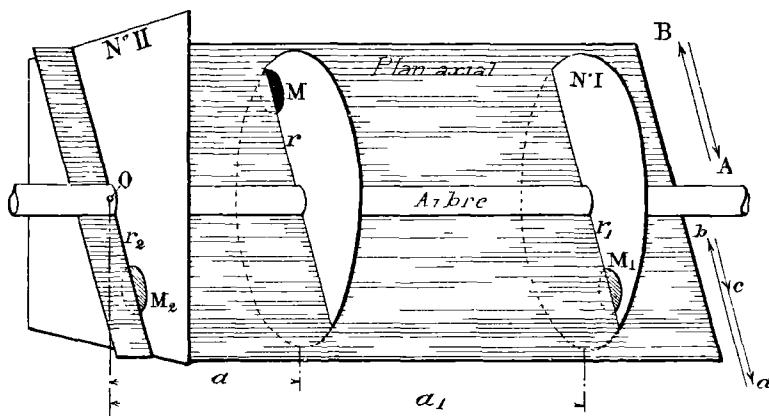


Fig. 6.

Composons-entre eux ces 3 forces et ces 3 couples et voyons que la résultante des trois forces est nulle et qu'il en est de même du couple résultant des 3 couples.

Les trois forces centrifuges ont pour expressions :

$$\Phi_M = M \omega^2 r$$

$$\Phi_{M_1} = M_1 \omega^2 r_1$$

$$\Phi_{M_2} = M_2 \omega^2 r_2$$

Puisque ces trois forces sont dirigées suivant une même droite, et qu'elles se font équilibre, leur somme algébrique est nulle. On a donc :

$$\begin{aligned} (Mr + M_1 r_1 + M_2 r_2) \omega^2 &= 0 \\ \text{ou (4)} \quad Mr + M_1 r_1 + M_2 r_2 &= 0 \end{aligned}$$

Les axes des couples résultant des translations des forces Φ_M et Φ_{M_1} ont pour valeurs

$$I_x = M \omega^2 r a$$

$$I_{x_1} = M_1 \omega^2 r_1 a_1$$

Puisque ces axes sont dirigés suivant une même droite, il faut pour l'équilibre que leur somme algébrique soit nulle, c'est à dire que l'on ait

$$\begin{aligned} (Mr a + M_1 r_1 a_1) \omega^2 &= 0, \\ \text{ou (5)} \quad Mr a + M_1 r_1 a_1 &= 0 \end{aligned}$$

Les deux conditions (4) et (5) expriment que les masses M_1 et M_2 équilibrent la masse M . On voit que si l'on se donne les positions respectives des plans N° I et N° II par rapport au plan de révolution dans lequel se meut le centre de gravité de la masse M à l'équilibre, c'est à dire si l'on se donne le rapport $\frac{a_1}{a}$, les équations (4) et (5) permettent de calculer $M_1 r_1$ et $M_2 r_2$ et par suite de déterminer les positions et les grandeurs des masses équilibrantes.

Le problème peut d'ailleurs se résoudre graphiquement de la manière suivante.

Considérons l'axe I_x du couple obtenu en transportant au point O parallèlement à elle-même la force centrifuge Φ_x due à la rotation de la masse M . Cet axe est, comme nous l'avons dit, perpendiculaire au plan axial et dirigé dans un sens tel qu'un observateur debout le long de cet

axe voit les forces du couple tendre à faire tourner leur bras de levier de droite à gauche. Dans le cas actuel, l'axe I_x est dirigé en avant du plan du papier. Faisons tourner cet axe de 90° de telle manière que dans le plan axial, il se trouve dirigé suivant le rayon I (à partir de l'axe de rotation vers la circonférence) c'est à dire suivant la direction du rayon de la manivelle et portons sur cette droite une longueur AB égale à $M_1 r_1$. La grandeur $M_1 r_1$, est, d'après l'équation (5), représentée par une longueur BA égale à AB , mais de sens inverse. Le rayon I , sur lequel se trouve le centre de gravité de la masse M_1 est alors dirigé en sens inverse du rayon I comme le montre la figure. Nous avons ainsi en grandeur et en direction la force d'équilibrage due à la masse M_1 .

D'autre part, sur une parallèle au rayon de manivelle I , portons dans le sens ab une longueur $M_1 r_1$, puis dans un sens opposé une longueur $bc = M_2 r_2$. L'équation (4) montre que si l'on trace ca telle que $bc + ca = -ab$, la longueur ca est égale à $M_2 r_2$ et sa direction donne la direction du rayon r_2 sur lequel se trouve le centre de gravité de la seconde masse d'équilibrage M_2 .

Dans ce qui précède, nous avons supposé que les centres de gravité de la masse M à équilibrer et des masses d'équilibrage M_1 et M_2 se trouvaient à chaque instant dans le même plan. Il n'en est pas en général ainsi et nous allons maintenant traiter le cas de l'équilibrage de trois masses M_1, M_2, M_3 , au moyen de deux autres masses dont les centres de gravité sont dans deux plans de rotation convenablement choisis. Désignons par M_4 et M_5 ces masses d'équilibrage ayant l'une son centre de gravité dans le même plan que le centre de gravité de la masse M , et l'autre dans un plan quelconque P (Fig. 7).

Soit O un point quelconque de l'axe de rotation situé dans le plan P . Transportons au point O , parallèlement à elles-mêmes, toutes les réactions centrifuges dues aux diverses masses M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 .

Exprimons que le système rigide formé de ces masses et de l'arbre est en équilibre au point de vue des forces centrifuges. La résultante de toutes les forces centrifuges est alors nulle ainsi que le couple résultant de tous les couples dus au transport au point O de toutes les réactions centrifuges.

Exprimons d'abord que le couple résultant est nul. Les axes des couples composants ont pour grandeurs :

$$\begin{aligned} I_{M_1} &= M_1 \omega^2 r_1 a_1 & I_{M_3} &= M_3 \omega^2 r_3 a_3 \\ I_{M_2} &= M_2 \omega^2 r_2 a_2 & I_{M_4} &= M_4 \omega^2 r_4 a_4 \end{aligned}$$

Si le couple résultant est nul, nous devons avoir, d'après une notation symbolique que nous avons employée plus haut,

$$\begin{aligned} \text{Résultante } [I_{M_1} + I_{M_2} + I_{M_3} + I_{M_4}] &= 0 \\ \text{Résultante } [(M_1 r_1 a_1 + M_2 r_2 a_2 + M_3 r_3 a_3 + M_4 r_4 a_4) \omega^2] &= 0 \end{aligned}$$

d'où enfin :

$$(6) \quad \text{Résultante } [M_1 r_1 a_1 + M_2 r_2 a_2 + M_3 r_3 a_3 + M_4 r_4 a_4] = 0$$

Cette relation symbolique conduit à la construction géométrique suivante.

Imaginons que nous faisons tourner les axes des couples de 90° de manière à les amener dans les plans des couples correspondants parallèlement aux divers rayons de manivelle comptés à partir de l'arbre. Sur une direction parallèle au rayon r_1 portons une longueur AB proportionnelle à la longueur $M_1 r_1 a_1$; puis, parallèlement au rayon r_2 une longueur BC proportionnelle à $M_2 r_2 a_2$; enfin, parallèlement au rayon r_3 , une longueur CD proportionnelle à $M_3 r_3 a_3$. D'après la relation (6) la droite DA représente $M_4 r_4 a_4$ et sa direction est parallèle au rayon r_4 . La grandeur et la direction de la force centrifuge d'équilibrage due à la masse M_4 sont ainsi parfaitement connues (Fig. 8).

Écrivons maintenant que les forces centrifuges auxquelles sont soumises les masses M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 ont une résultante nulle.

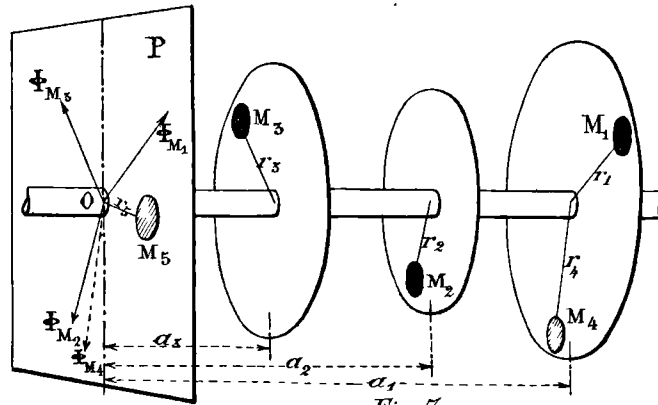


Fig. 7.

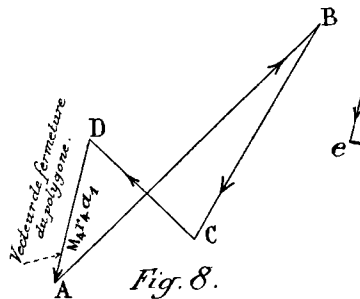


Fig. 8.

Polygone des axes des couples.

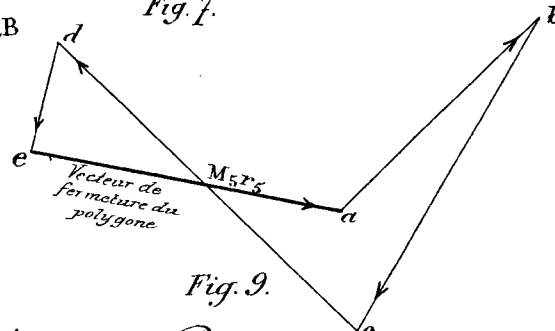


Fig. 9.

Polygone des forces.

Ces forces centrifuges ont pour valeurs :

$$\begin{aligned} \Phi_{M_1} &= M_1 \omega^2 r_1 & \Phi_{M_4} &= M_4 \omega^2 r_4 \\ \Phi_{M_2} &= M_2 \omega^2 r_2 & \Phi_{M_5} &= M_5 \omega^2 r_5 \\ \Phi_{M_3} &= M_3 \omega^2 r_3 \end{aligned}$$

Puisque ces forces ont une résultante nulle, on a l'égalité

symbolique : Résultante $(\Phi_{M_1} + \Phi_{M_2} + \Phi_{M_3} + \Phi_{M_4} + \Phi_{M_5}) = 0$

ou : Résultante $[(M_1 r_1 + M_2 r_2 + M_3 r_3 + M_4 r_4 + M_5 r_5) \omega^2] = 0$

d'où enfin

(7) Résultante $(M_1 r_1 + M_2 r_2 + M_3 r_3 + M_4 r_4 + M_5 r_5) = 0$

Cette égalité symbolique conduit à la construction géométrique suivante.

Trasons des vecteurs ab, bc, cd, de , parallèles aux côtés du polygone ABCDA et prenons pour les côtés de la nouvelle ligne brisée des longueurs proportionnelles à (Fig. 9).

$$M_1 r_1 (ab) , M_2 r_2 (bc) , M_3 r_3 (cd) \quad M_4 r_4 (de) .$$

L'égalité (7) signifie que le côté ea qui ferme le polygone a une longueur proportionnelle à $M_5 r_5$. De plus, la direction ea est la direction de la force centrifuge d'équilibrage due à la masse M_5 dont le centre de gravité est dans le plan P . La grandeur et la direction de cette seconde force d'équilibrage sont ainsi parfaitement déterminées.

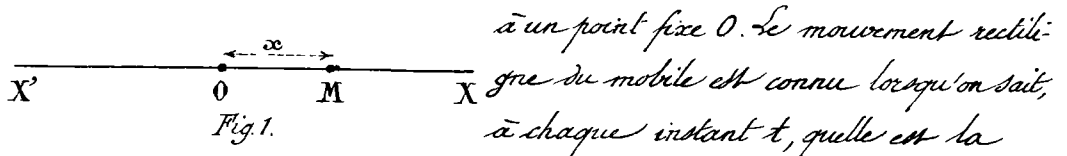
Equilibrage
d'un vilebrequin.

Ce lieu d'équilibrer séparément chaque manivelle, comme nous l'avons indiqué plus haut, on peut, au moyen de deux masses convenablement choisies tournant autour de l'axe de rotation, équilibrer en même temps toutes les manivelles d'un vilebrequin, et cela en employant la méthode que nous venons de développer. Ce mode d'équilibrage est employé dans les locomotives et dans certaines machines marines.

§ 3 - Equilibrage des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif. - Cas où la bielle est infinie.

Dans une machine en mouvement, certaines pièces, les pistons et leurs tiges par exemple, sont animées d'un mouvement rectiligne alternatif. Nous allons, dans ce paragraphe, indiquer comment on peut faire l'équilibrage de semblables masses.

Considérons un mobile qui se meut en ligne droite suivant une ligne XX' . Désignons à un instant t par x la distance de ce mobile



à un point fixe O . Le mouvement rectiligne du mobile est connu lorsqu'on sait, à chaque instant t , quelle est la

$$(1) \quad x = f(t)$$

valeur de la distance x ; en d'autres termes lorsqu'on connaît la relation qui relie le temps t au chemin parcouru par le mobile.

Quand on connaît ainsi la loi du mouvement représentée par la relation (1), on a facilement d'une part la vitesse v du mobile à

l'instant t et d'autre part l'accélération γ au même instant. En effet, en prenant deux fois de suite la dérivée de x par rapport au temps t , on trouve:

$$(2) \quad v = \frac{dx}{dt} = f'(t) \quad \gamma = \frac{d^2x}{dt^2} = f''(t)$$

L'accélération γ est dirigée suivant la droite XX' suivant laquelle se fait le mouvement du mobile M .

Le produit $M\gamma$ de la masse du mobile par l'accélération de son mouvement rectiligne représente la force qui engendre le mouvement du point M .

D'après le principe de d'Alembert que nous avons énoncé plus haut, il y a, à chaque instant, équilibre entre la force réellement agissante sur le mobile M et la force fictive d'inertie $(-M\gamma)$ égale et opposée à la précédente.

Dans ce cas, la force fictive d'inertie a donc pour expression:

$$-M\gamma = -M \frac{d^2x}{dt^2} = -Mf''(t)$$

Valeur de l'accélération des masses

d'une machine, animées d'un mouvement rectiligne alternatif, lorsque la bielle est infinie.

Ceci posé, considérons une machine à vapeur par exemple et les masses de cette machine qui sont animées d'un mouvement rectiligne alternatif. Lorsque l'on connaît la loi du mouvement de rotation de la soie de manivelle, on sait calculer l'accélération correspondante des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif, c'est à dire, du piston et de sa tige. L'expression de cette accélération est, en général, assez compliquée. Toutefois on en obtient une expression, très simple lorsque l'on suppose, que la bielle qui relie la tige du piston à la manivelle est assez longue pour qu'on puisse la considérer comme ayant une longueur infinie. Dans ce cas, comme le montre la figure 11, les arcs BbB_1 , $B'b_1B_1'$, décrits des points T et T' comme centres avec la longueur de la bielle pour rayon, peuvent être sensiblement confondus avec des normales à la direction rectiligne

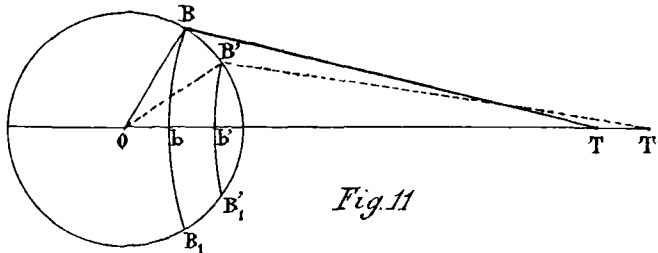


Fig. 11

de manivelle et le déplacement TT' du piston s'obtient en prenant les distances de ces projections.

Le dispositif adopté dans la figure 12 réalise matériellement ce cas d'une bielle infinie; on voit en effet sur cette figure que le déplacement du piston est égal à la distance des projections sur la direc-

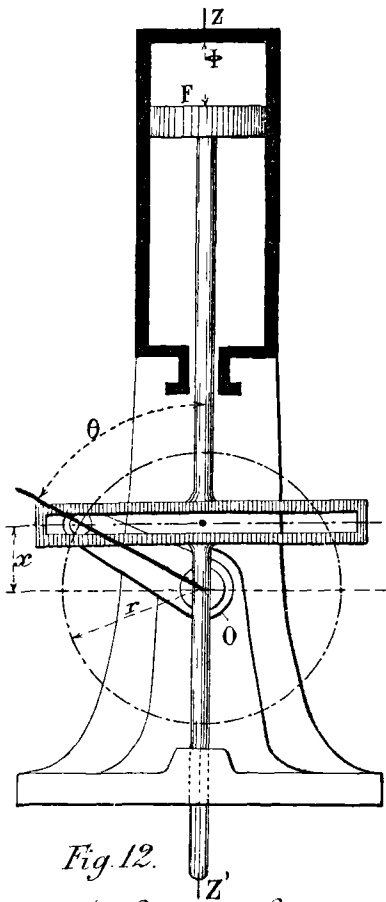


Fig. 12.

(Dalby. The Balancing of Engines p 55)

du mouvement du piston.

Par suite, on peut considérer les points b et b' comme les projections sur cette direction du bouton

de l'extrémité de la manivelle.

Désignons par θ l'angle variable entre la ligne fixe OZ et le rayon r de la manivelle. La distance x qui, à un instant donné, sépare l'extrémité de la tige du piston du centre O est, en fonction de l'angle θ ,

$$(4) \quad x = r \cos \theta$$

d'où en différentiant deux fois par rapport à t et en appelant $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ la vitesse angulaire constante de rotation de la manivelle, on trouve pour la vitesse et l'accélération du mouvement rectiligne du piston:

$$(5) \quad v = \frac{dx}{dt} = -r\omega \sin \theta$$

(6) $\gamma = \frac{d^2x}{dt^2} = -r\omega^2 \cos \theta$

Force fictive d'inertie dans le mouvement du piston. L'accélération γ du mouvement du piston étant dirigée à chaque instant suivant la ligne ZZ' , la force d'inertie correspondante a pour expression :

(7) $\Phi = -M\gamma$

M étant la masse totale des organes animés d'un mouvement alternatif.

Cette force fictive d'inertie est, comme nous l'avons déjà indiqué, dirigée, à chaque instant, suivant la ligne ZZ' mais en sens inverse de γ .

Dans le cas actuel, cette force fictive d'inertie a pour expression :

(8) $\Phi = M\omega^2 r \cos \theta$

Force d'inertie alternative. Nous lui donnerons le nom de force d'inertie alternative pour bien montrer son origine et la distinguer de la force centrifuge, cette autre force d'inertie que nous allons avoir à considérer en même temps.

Ramener le problème de l'équilibrage des forces d'inertie alternatives dues aux masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif à celui de l'équilibrage des forces centrifuges dues aux masses animées d'un mouvement de rotation. Nous allons maintenant montrer comment on peut ramener le problème de l'équilibrage des forces d'inertie alternatives dues aux masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif à celui de l'équilibrage des forces centrifuges dues aux masses animées d'un mouvement de rotation.

Supposons qu'une masse M , égale à la somme des masses des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif, soit concentrée en un point qui coïncide avec le centre du bouton de manivelle de la machine précédente. Cette masse, en tournant autour de l'arbre, donne naissance à une force centrifuge qui a pour valeur :

$$M\omega^2 r$$

r , désignant la longueur du rayon de la manivelle. La projection sur la direction OZ de cette réaction centrifuge a pour expression :

$$M\omega^2 r \cos \theta$$

Comme on le voit, cette composante suivant OZ est égale

en grandeur et en direction à la force d'inertie Φ due aux masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif.

Ce rapprochement va nous conduire à la méthode permettant d'équilibrer les forces d'inertie alternatives dues aux masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif.

Considérons pour un cylindre la masse M des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif. Imaginons que, cette masse M soit

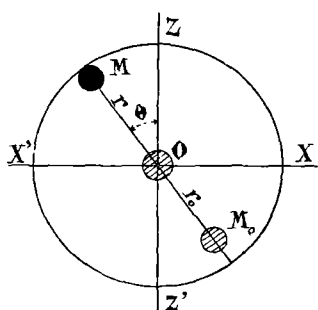


Fig. 13.

concentrée à l'extrémité du rayon r de la manivelle; cette masse M , en tournant autour de l'axe projeté en O , donne naissance à une force centrifuge dirigée de O vers M et qui a pour valeur :

$$M\omega^2 r$$

D'après ce que nous avons vu dans le paragraphe précédent, cette force peut être équilibrée en disposant une masse M_0 dont le centre de gravité est à une distance r_0 de l'axe de rotation et choisie de telle façon que la force centrifuge due à cette masse M_0 soit égale et directement opposée à la précédente. Il suffit pour cela que la masse M_0 soit disposée comme le montre la figure 13 et que l'on ait de plus :

$$(9) \quad Mr + M_0 r_0 = 0$$

La masse M_0 étant ainsi choisie, projetons la force centrifuge qu'elle fait naître sur la direction invariable ZZ' de la course du piston. Cette projection est égale, en vertu de la relation (9) à :

$$-M\omega^2 r \cos \theta$$

c'est à dire qu'elle est égale et opposée à la force d'inertie alternative due aux masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif. Cette force se trouve ainsi équilibrée, quelle que soit d'ailleurs l'instant, auquel on étudie le mouvement. Ainsi, en disposant la masse M_0 comme nous venons de l'indiquer, nous équilibrons la force d'inertie alternative des

masses à mouvement rectiligne alternatif.

Encorefois il convient de faire une remarque importante. Projections sur une perpendiculaire à la direction de la course du piston la force centrifuge due à la masse M_0 .

Cette projection a pour valeur :

$$-M \omega^2 r \sin \theta$$

La force centrifuge considérée ($-M\omega^2 r$) est la résultante de la composante ($-M\omega^2 r \cos \theta$) suivant ZZ' et de la composante ($-M\omega^2 r \sin \theta$) suivant XX' . La première composante sert à équilibrer les forces d'inertie alternatives dues aux masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif. Mais la deuxième composante ($-M\omega^2 r \sin \theta$) n'est nullement équilibrée. Si le cylindre de la machine est vertical comme le sont généralement les machines de navire, cette composante, agissant dans le plan horizontal y donne naissance à une action qui varie périodiquement pendant la durée du mouvement. Si, au contraire, le cylindre de la machine est horizontal, comme cela a généralement lieu dans les locomotives, cette composante agit dans le plan vertical et y donne naissance à une action perturbatrice périodique se traduisant par une variation périodique (augmentation et diminution alternatives) de la charge sur les rails, qui peut être suffisante pour doubler à un instant donné la pression de la roue sur le rail et pour soulever presque complètement cette roue à un instant séparé du premier par le temps correspondant à une demi-révolution de la roue. Or cette variation de la pression sur le rail a des effets fâcheux pour la voie, pour les ponts et pour les bandages des roues de la locomotive; aussi doit-on s'efforcer de la rendre aussi petite que possible. Toutefois, à ce point de vue, le problème de l'équilibrage des locomotives présente deux conditions contradictoires. Si on veut équilibrer complètement au moyen de forces centrifuges les forces d'inertie alternatives dues aux masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif, on n'a plus

d'effets dus à ces forces d'inertie (effets qui se traduisent par une oscillation de la machine autour d'un axe vertical ou mouvement de lacet), mais on a une très grande variation de la pression sur les rails. Si, au contraire, on n'équilibre pas les forces d'inertie alternatives dues aux organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif (les forces centrifuges dues aux masses animées d'un mouvement de rotation étant complètement équilibrées), on n'a pas de variation de la pression sur le rail, mais la machine prend un mouvement de lacet qui peut être dangereux à certaines vitesses. Aussi a-t-on soin de n'équilibrer qu'une partie des forces d'inertie alternatives dues aux masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif; par exemple, en Angleterre, on n'équilibre que les deux tiers de ces forces d'inertie.

La méthode d'équilibrage dont nous venons de donner le principe dans le cas où la machine n'est formée que d'un cylindre, s'applique de la même manière au cas où la machine est à plusieurs cylindres. Il suffit, pour chacun de ces cylindres, de considérer la masse des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif, d'imaginer cette masse concentrée à l'extrémité de la manivelle de manière que son centre de gravité coïncide avec le centre du bouton de manivelle et d'équilibrer ces masses animées d'un mouvement de rotation par l'une ou l'autre des méthodes que nous avons indiquées dans le paragraphe précédent.

Rappelons que ces méthodes appartiennent à deux types :

1^o - Méthode dans laquelle chaque masse animée d'un mouvement de rotation est équilibrée par une masse dont le centre de gravité se trouve dans le même plan de rotation que le centre de gravité de la première. Nous venons de justifier cette méthode.

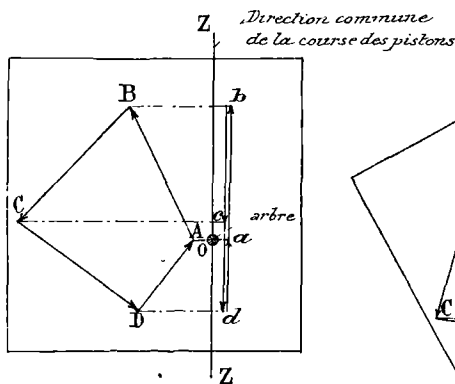
2^o - Méthode dans laquelle on équilibre à la fois toutes les masses animées d'un mouvement de rotation au moyen de deux masses dont les centres de gravité sont contenus dans deux plans de révolution

convenablement choisis, dont l'un est généralement l'un des plans de révolution des masses et dont l'autre est soit, quelconque, soit l'un de ces plans de rotation.

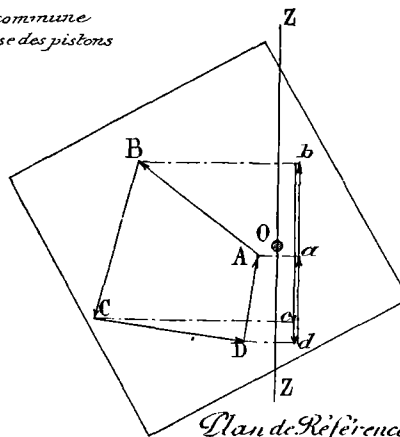
Pour obtenir l'équilibrage cherché, il suffit, pour un instant donné, de transporter parallèlement à elles-mêmes chacune des forces centrifuges à équilibrer et équilibrantes en un point de ce plan et d'exprimer les conditions:

- 1^o - pour que le polygone construit avec les forces centrifuges soit fermé;
- 2^o - pour que le polygone construit avec les axes des couples résultant du transport des forces centrifuges soit lui aussi fermé.

Les figures 14 et 15 montrent nettement que, si on considère par



Plan de Référence
Fig. 14



Plan de Référence
Fig. 15

exemple le polygone fermé construit avec toutes les forces centrifuges (forces d'équilibrage et forces à équilibrer), la projection de ce polygone sur la direction ZZ de la course du piston est nulle, à un instant quelconque

de la rotation du système. Or, les projections sur cet axe des forces centrifuges à équilibrer sont égales, comme nous l'avons vu, aux forces d'inertie alternatives des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif. Par suite, comme à un instant quelconque du mouvement, la projection du polygone des forces sur l'axe ZZ est nulle, on peut dire que les forces d'inertie alternatives des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif sont équilibrées.

On verrait, comme précédemment, que ce mode d'équilibrage

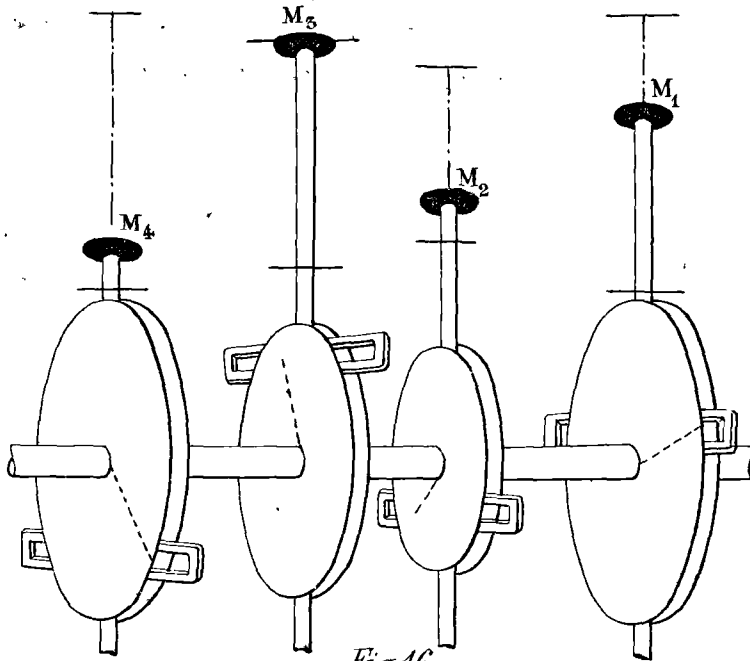
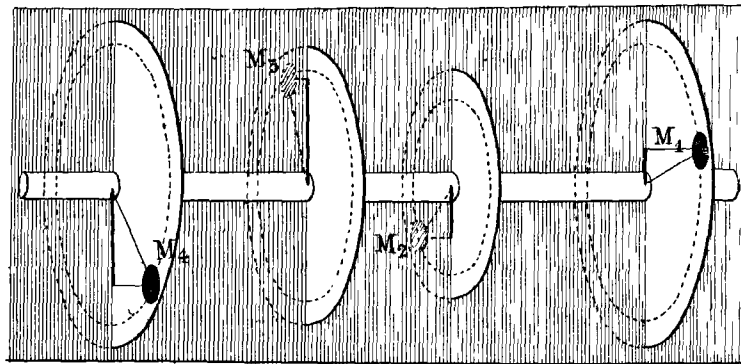


Fig.16.

introduit des composantes non équilibrées qui sont les projections, sur un axe perpendiculaire à la direction de la course du piston, des forces centrifuges dues aux deux masses d'équilibrage.

Enfin, la figure 16 nous montre schématiquement le mode d'équilibrage des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif et nous indique que les composantes verticales sont seules équilibrées.

Comment on peut tenir compte de la longueur de la bielle.

Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que la bielle avait une longueur infinie ou que la liaison de la manivelle et de la tige du piston était établie, comme l'indique la fig 12. Mais ce mode de liaison n'existe presque jamais dans les machines; l'extrémité de la tige du piston est reliée à la soie de manivelle par une bielle de longueur finie. Dans ce cas les déplacements des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif ne sont pas liés aux déplacements

de la manivelle par une formule aussi simple que celle qui a été donnée plus haut. Pour le moment, nous supposons la bielle assez longue pour que la différence entre l'accélération des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif et l'accélération qu'elles prendraient si la bielle était infinie, puisse être considérée comme négligeable. Nous tiendrons cependant compte, dans nos raisonnements, de la longueur de la bielle en ce sens que nous tiendrons compte du mouvement de cette bielle, mouvement qui est relatif pour les parties voisines de la soie de manivelle et qui est alternatif pour les parties voisines de la tête de tige du piston.

En réalité, le mouvement de la bielle est très complexe, mais nous pouvons nous contenter de l'approximation suivante. Considérons le centre de gravité de la bielle et divisons cette bielle en deux parties par un plan normal aux forces et passant par le centre de gravité. Ce plan divise la bielle en deux parties dont l'une est reliée à la soie de manivelle et l'autre à la tête de la tige du piston. Nous admettons que le poids de la partie reliée à la soie de manivelle s'y trouve concentrée et par suite fait partie des masses animées d'un mouvement de rotation, tandis que le poids de la partie reliée à la tête de la tige se trouve concentré en cette dernière et fait partie des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif.

Pour trouver le centre de gravité de la bielle, on la prend dans l'état où elle doit être placée sur la machine et on la met en équilibre par tâtonnement sur l'arête d'un couteau. Si on désigne par c la distance à l'arête du couteau du centre du bouton de manivelle et par l la longueur de la bielle, on a, en appelant P le poids de la bielle :

$$\left. \begin{array}{l} \text{pour poids de la partie qui doit être comprise dans les masses} \\ \text{animées d'un mouvement de rotation.} \end{array} \right\} p = \frac{Pc}{l}$$
$$\left. \begin{array}{l} \text{pour poids de la partie qui doit être ajoutée aux masses} \\ \text{animées d'un mouvement rectiligne alternatif.} \end{array} \right\} P-p = P \frac{l-c}{l}$$

C Vous allons maintenant donner quelques exemples numériques pour bien montrer comment on peut appliquer les principes que nous venons de poser. ⁽¹⁾

1^{er} exemple.

Problème. Dans une machine, à 4 cylindres, on donne :

- 1^o - la course commune des pistons ;
- 2^o - les distances des axes des cylindres entre eux ;
- 3^o - les poids des masses correspondant aux 3 premiers cylindres qui sont animées d'un mouvement rectiligne alternatif.

On demande : 1^o de déterminer les angles des manivelles ;
2^o de fixer, pour le 4^o cylindre le poids des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif ; de telle sorte que toutes les masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif soient équilibrées entre elles.

La figure 17 indique quelles sont les données, c'est à dire :
le rayon de manivelle r en mètres ;
les distances $a_3, a_2 - a_3, a_1 - a_2$ des axes des cylindres ;

(1) Il est intéressant de se rendre compte, quelle est, pour un moteur d'automobile, la valeur maxima de la force d'inertie alternative que l'on doit équilibrer. Cette valeur maxima est, quand on suppose la bielle infinie, égale à la force centrifuge développée par la masse supposée transportée à l'extrémité du rayon de manivelle, des organes animés, d'un mouvement rectiligne alternatif. Ces organes sont, pour un mouvement d'automobile, d'une part le piston et d'autre part la partie de la bielle que l'on peut considérer comme animée du même mouvement rectiligne que le piston.

Supposons que le poids du piston et de cette partie de la bielle ($\frac{2}{3}$ de la longueur) soit de 1^{kg} 800, et admettons que le moteur tourne à 1000 tours, la course du piston étant 12 centim. La vitesse du piston par seconde est :

$$V = 2\pi \frac{C}{2} \times N = 2 \times 3,1416 \times 0,06 \times 16,7 = 6,30$$

$$\text{La vitesse angulaire } \omega = \frac{V}{R} = \frac{6,30}{0,06} = 105.$$

La force centrifuge engendrée par le poids de 1^{kg} 800, concentré à l'extrémité du rayon de manivelle

$$\text{est : } \Phi = M \omega^2 \frac{C}{2} = \frac{1800}{9,81} (105)^2 0,06 = 123 \text{ kilogrammes.}$$

On voit ainsi que la force d'inertie alternative est loin d'être négligeable dans un moteur d'auto-mobilité.

les poids en kilogrammes P_1, P_2, P_3 , des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif.

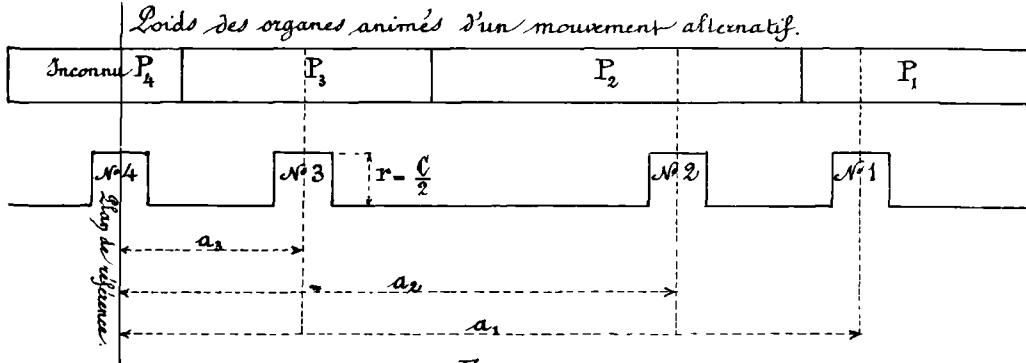


Fig. 17

Supposons que les poids P_1, P_2, P_3 et le poids inconnu P_4 soient transportés aux extrémités des rayons de manivelle correspondants et proposons-nous d'équilibrer ces masses animées d'un mouvement de rotation autour de l'arbre.

Prendons pour plan de référence le plan qui passe par l'axe du 4^me cylindre et transportons en un point de ce plan toutes les forces centrifuges dues à la rotation des masses $\frac{P_1}{g} = M_1$, $\frac{P_2}{g} = M_2$, $\frac{P_3}{g} = M_3$.

Les axes des couples que l'on fait naître par ce transport ont pour valeurs, en désignant par ω la vitesse angulaire de rotation de l'arbre :

$$M_1 \omega^2 r \times a_1 = \frac{P_1}{g} \omega^2 r \times a_1$$

$$M_2 \omega^2 r \times a_2 = \frac{P_2}{g} \omega^2 r \times a_2$$

$$M_3 \omega^2 r \times a_3 = \frac{P_3}{g} \omega^2 r \times a_3$$

Supposons que ces axes soient tracés dans le plan de référence parallèlement aux rayons de manivelle correspondants. Si les masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif sont équilibrées par rapport aux forces d'inertie alternatives, les trois axes des couples doivent former un triangle.

Nous sommes donc ainsi ramenés à construire un triangle dont on connaît les trois côtés proportionnels à $P_1 a_1$, $P_2 a_2$ et $P_3 a_3$.

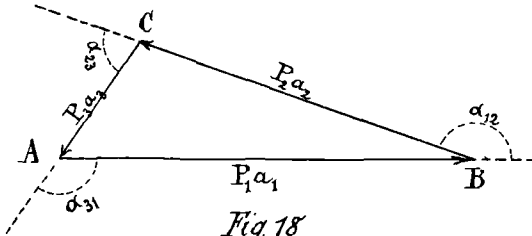


Fig. 18

Soit CAB un tel triangle.

Quisque les côtés de ce triangle nous représentent les axes des couples tracés dans le plan de référence parallèlement aux rayons de manivelle correspondants, les directions des côtés nous donnent les directions des manivelles $N^{\circ}1$, $N^{\circ}2$, $N^{\circ}3$, dont les angles sont représentés par les angles extérieurs α_{12} , α_{23} , α_{31} , comptés dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. On a ainsi déjà les directions de trois des manivelles.

D'autre part, les forces centrifuges dues aux masses M_1, M_2, M_3, M_4 , $M_4 = \frac{P_4}{g}$ (inconnue), sont, dans le plan de référence, des forces concourantes qui se font équilibre. Ces forces ont d'ailleurs pour expressions :

$$M_1 \omega^2 r = \frac{P_1}{g} \omega^2 r \qquad M_3 \omega^2 r = \frac{P_3}{g} \omega^2 r$$

$$M_2 \omega^2 r = \frac{P_2}{g} \omega^2 r \qquad M_4 \omega^2 r = \frac{P_4}{g} \omega^2 r$$

Elles sont proportionnelles à P_1, P_2, P_3, P_4 et parallèles aux rayons de manivelle correspondants. Or nous connaissons les directions de trois de ces rayons, directions données par les côtés AB, BC, CA du triangle de la figure 18. Traçons des parallèles à ces directions et prenons sur chacune d'elles, dans le sens de la direction de la manivelle (c'est à dire à partir de l'axe de rotation) trois longueurs ab, bc, cd qui représentent les poids P_1, P_2, P_3 . Le vecteur da, qui ferme ce polygone nous donne :

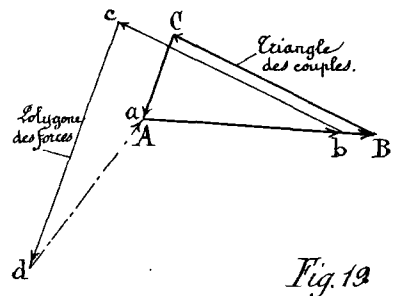
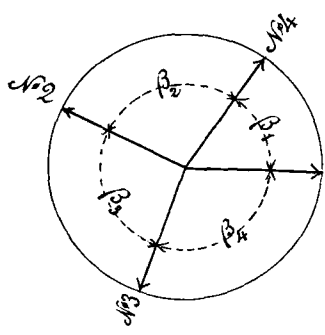


Fig. 19



P_1, P_2, P_3 . Le vecteur da, qui ferme ce polygone nous donne :

1^o la direction de la 4^{me} manivelle;

2^o - la grandeur de P_4 , c'est à dire le poids des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif que l'on doit faire correspondre à la manivelle N°4, voir que toutes les masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif s'équilibrent d'elles-mêmes.

Le problème posé est ainsi complètement résolu.

Deuxième exemple.

Équilibrage d'une locomotive à 2 cylindres au moyen de deux contrepoids placés entre les rais des roues motrices.

Nous allons maintenant montrer, comme application des principes précédents, le mode d'équilibrage d'une locomotive à deux cylindres.

Prenez comme exemple le cas d'une locomotive à deux cylindres du Lancashire and Yorkshire Railway.

1^o - Organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif.

Dans cette locomotive, les cylindres ont 0^m,45 de diamètre et 0^m,65 de course.

Les poids des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif sont les suivants :

1 piston - 0 ^m ,45 de diamètre	_____	73 kilogr.
2 segments de piston	_____	6,5
1 tige de piston et 1 tête de crosse	_____	75,5
1 boulon	_____	3,
1 goupille de tête de crosse	_____	8,75
2 glissières	_____	33, .
		199 ^{kg.} , 5

La bielle pèse 222 kgr.; elle est divisée en une partie qui s'ajoute au poids des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif et une partie qui s'ajoute au poids des organes animés d'un mouvement de rotation autour de l'axe. Le centre de gravité est à 0,65g de la longueur à partir de la petite extrémité. Par suite, un poids de

$$0,65g \times 222 = 146,25 \text{ Kilogrammes}$$

doit être ajouté au poids des organes animés d'un mouvement de rotation

et le reste, c'est à dire 75,75 Kilog., doit être ajouté aux masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif.

En a donc finalement :

Poids des organes entraînés par la bielle et qui sont animés d'un mouvement rectiligne alternatif. _____ 199,7 Kilog.

Proportion du poids de la bielle à ajouter au poids des organes, animés d'un mouvement rectiligne alternatif _____ 75,75

Poids total, par cylindre des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif _____ 275,45 kgr.

2^e Poids correspondant des parties de l'essieu coudé animées d'un mouvement de rotation.

2 bras de manivelle (pour une seule manivelle) _____ 148 Kgr.

1 soie de manivelle _____ 28, "

Partie du poids de la bielle à ajouter aux organes animés d'un mouvement de rotation. _____ 146,25

Mais il faut remarquer, que les poids des masses qui doivent être concentrées à l'extrémité de la manivelle, c'est à dire à une distance de 0^m,325 de l'axe de rotation, sont :

2 bras de manivelle _____ 74 Kgr. placés à une distance de 0^m,325 de l'axe.

1 soie de manivelle _____ 28, "

partie de bielle _____ 146,25

Poids total, par soie de manivelle, _____
des organes animés d'un mouv.^t de rotation _____ 248,25 kilogrammes.

Nous n'étudierons ici que le cas où les 2 cylindres de la locomotive sont intérieurs aux longerons.

Cas où les deux cylindres de la locomotive sont intérieurs aux longerons :

Données: Course _____ 0^m,65

Distance entre les axes des 2 cylindres _____ 0,575

Poids par bouton de manivelle des organes non équilibrés qui sont animés d'un mouvement de rotation, ce poids étant placé à une distance de 0^m,325 de l'axe de rotation — 248, ^{Kge} 25

Poids par cylindre des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif, ce poids étant placé à l'extrémité du rayon de manivelle. — 275, ^{Kge} 45

Partie ^{à équilibrer} des poids des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif. — $\frac{2}{3}$

Angle des deux manivelles — 90°

Distance entre les plans de symétrie des roues — 1^m,475.

Le problème consiste, en partant de ces données, à trouver deux contre-poids dont les centres de gravité doivent être placés dans les plans de symétrie des roues, et qui soient susceptibles d'équilibrer toutes les masses animées d'un mouvement de rotation et les $\frac{2}{3}$ seulement des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif.

On voit que le poids des organes à équilibrer est :

Masses animées d'un mouvement de rotation —	248, ^{Kge} 25
$\frac{2}{3}$ des masses animées d'un mouvement alternatif —	183, 65
Total, par bouton de manivelle, des masses à équilibrer —	431, ^{Kge} 90

Prends pour plan de référence le plan de symétrie de la roue que nous avons désignée sous le nom de roue de droite. Si nous transportons parallèlement, à elles-mêmes, en un point de ce plan, les forces centrifuges, nous faisons naître des couples dont les axes ont pour grandeur :

Cylindre de droite N°2 : $\frac{431,9}{g} \omega^2 \times 0,325 \times 0,45$

Cylindre de gauche N°3 : $\frac{431,9}{g} \omega^2 \times 0,325 \times 1,025$

D'ailleurs dans le plan de référence choisi, ces axes sont parallèles aux rayons de manivelle comptés à partir de l'axe de rotation.

Tracons donc une longueur AB (Fig. 21) parallèle au rayon

de la manivelle du cylindre de gauche et dont la longueur représente le produit $431,9 \times 1,025$, puis normalement à AB , une longueur BC parallèle au rayon de manivelle du cylindre de droite et dont la longueur représente le produit $431,9 \times 0,45$. La droite CA , qui ferme ce triangle et en est l'hypothénuse, nous donne la masse d'équilibrage dont le centre de gravité est placé dans le plan de symétrie de la roue de gauche, c'est à dire dans le plan noté N°4 sur la figure. En effet, la longueur CA nous représente le produit de cette masse d'équilibrage par $1,475$ et d'autre part la direction CA est parallèle à la direction de la ligne qui joint un point de l'axe de rotation au centre de gravité de cette masse. Le poids de cette masse est de 330 kgr. et son centre de gravité est à une distance de l'axe de rotation égale à la longueur du rayon de la manivelle. Cette masse est représentée en noir sur la figure 20.

D'autre part, dans le plan de référence choisi, les forces centrifuges doivent se faire équilibre. Or les forces centrifuges à équilibrer ont pour expression :

Cylindre de droite N°2	_____	$\frac{431,9}{g} \omega^2 \times 0,325$
Cylindre de gauche N°3	_____	$\frac{431,9}{g} \omega^2 \times 0,325$
Masse d'équilibrage dont le centre de gravité est dans le plan N°4	_____	$\frac{330}{g} \omega^2 \times 0,325$

Sur une direction parallèle au rayon de la manivelle de gauche, nous portons une longueur Ab qui représente $431,9$ (Fig. 21); sur une direction parallèle au rayon de la manivelle de droite nous portons une longueur Bc qui représente $431,9$; sur une direction parallèle à CA , nous portons une longueur cd qui représente 330 . La longueur dA , qui ferme le polygone, représente la grandeur du poids d'équilibrage à placer dans le plan de référence, et la direction dA est parallèle à la droite qui joint un point de l'axe au centre de gravité de cette masse.

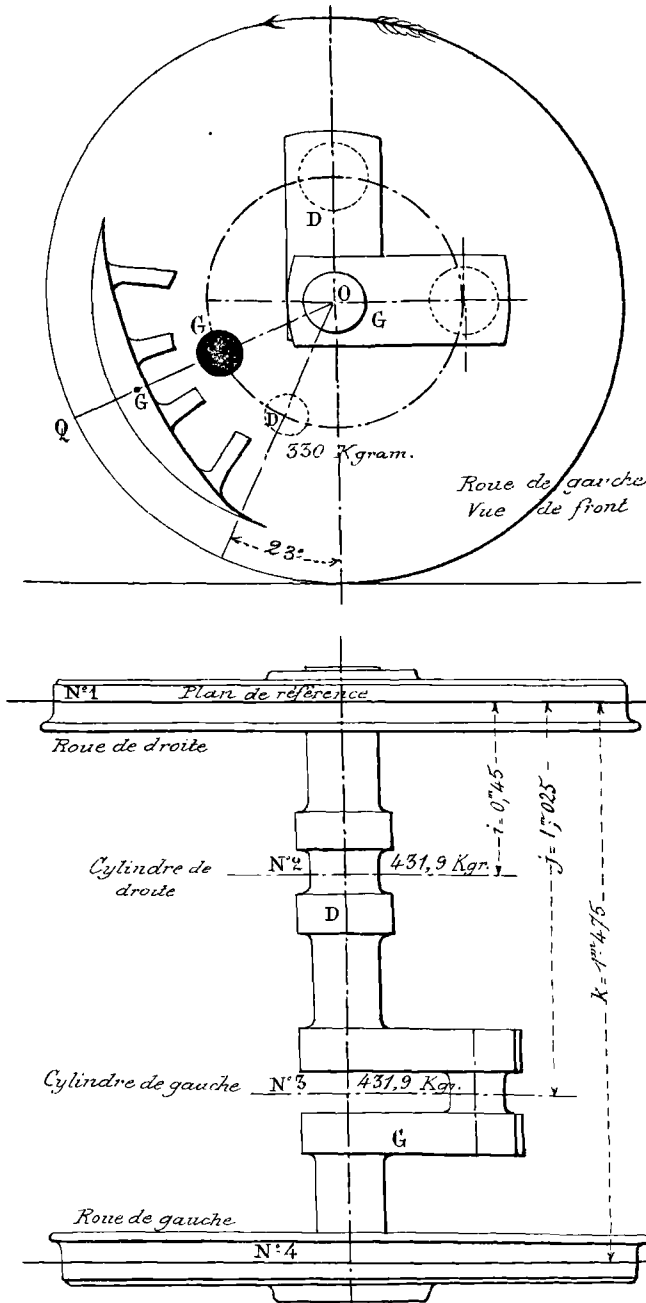


Fig. 20.

Mais pour que la réaction centrifuge garde la même valeur, il faut que l'on ait la relation : $330 \times 0,325 = P_0 \times R$

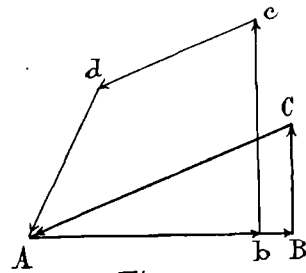


Fig. 21

d'équilibrage. On trouve qu'une telle masse a un poids de 330 Kgr. c'est à dire qu'elle est égale à l'autre masse d'équilibrage.

Mais il n'est pas commode de disposer ces masses comme nous l'avons indiqué sur la figure 20. Il est préférable de les placer à la jante et de leur donner une forme de croissant comme l'indique la fig. 20, le centre de gravité G étant toujours sur le même rayon de la roue que le centre de gravité de la masse figurée en noir sur la figure.

R , distance à l'axe du centre de gravité du poids P_0 .

Si, par exemple, on prend $R = 0,90$, le poids P_0 doit être égal à 110,2 kilogrammes.

§ 4 - Equilibrage des masses animées d'un mouv.^t rectiligne alternatif - Cas où la bielle a une long.^r finie.

Quand le rapport entre la longueur de la bielle et le rayon de la manivelle est petit, la différence entre le mouvement vrai du piston et le mouvement qu'il prendrait si la bielle était infiniment longue est souvent assez grande pour introduire une erreur considérable dans les procédés d'équilibrage fondés sur l'hypothèse d'une bielle infiniment longue. Nous nous proposons, dans ce paragraphe, de montrer comment on peut, en tenant compte de la longueur finie de la bielle, équilibrer les masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif; nous allons faire voir comment on peut résoudre ce problème sans ajouter de masses d'équilibrage, en disposant convenablement les divers organes de la machine, c'est à dire en réglant les directions des rayons de manivelle et les masses des parties animées d'un mouvement rectiligne alternatif.

Expression analytique de l'accélération des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif. Soit θ l'angle variable que fait avec une ligne fixe OZ (cette ligne fixe est par exemple l'axe d'un cylindre de la machine) une ligne OX , tracée dans le plan décrit par le rayon de manivelle OP . Soit α l'angle constant entre la direction du rayon OP et la direction OX ; φ , l'angle entre la ligne OZ et la bielle; r , le rayon de manivelle; l , la longueur de la bielle (Fig. 22).

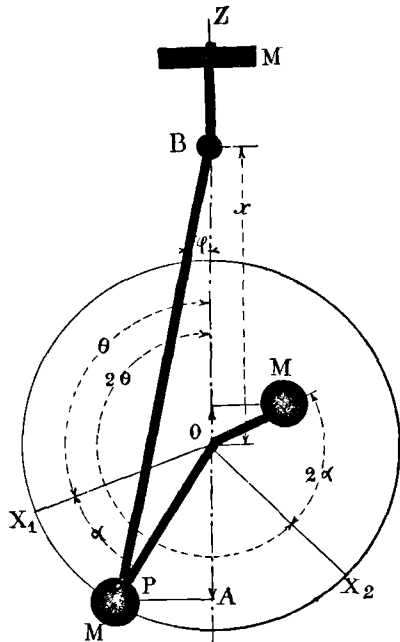
La distance x de la tête de crosse B , à l'origine O a p.^r expression:

$$x = BA - OA = l \cos \varphi - r \cos [\pi - (\theta + \alpha)] = r \cos (\theta + \alpha) + l \cos \varphi.$$

Mais on a :

$$r \sin (\theta + \alpha) = l \sin \varphi$$

$$\sin \varphi = \frac{r}{l} \sin (\theta + \alpha)$$



(Dalby, The Balancing of Engine, p 125.)

Fig. 22

et par suite :

$$\cos \varphi = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} = \left[1 - \frac{r^2}{l^2} \sin^2(\theta + \alpha) \right]^{\frac{1}{2}}$$

En développant par la formule du binôme de Newton et négligeant tous les termes à partir du second, on trouve :

$$\cos \varphi = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{r^2}{l^2} \sin^2(\theta + \alpha)$$

$$\cos \varphi = 1 - \frac{1}{4} \cdot \frac{r^2}{l^2} [1 - \cos 2(\theta + \alpha)]$$

On en déduit :

$$x = r \cos(\theta + \alpha) + \frac{r^2}{4l} \cos 2(\theta + \alpha) + \left(l - \frac{r^2}{4l} \right)$$

et par suite :

$$\frac{dx}{dt} = -r \sin(\theta + \alpha) \frac{d\theta}{dt} - \frac{2r^2}{4l} \sin 2(\theta + \alpha) \frac{d\theta}{dt}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -r \cos(\theta + \alpha) \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 - \frac{4r^2}{4l} \cos 2(\theta + \alpha) \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2$$

Si on prend $\omega = \frac{d\theta}{dt}$, l'accélération du

point B est donnée par la formule :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -r \omega^2 \cos(\theta + \alpha) - \frac{r^2}{l} \omega^2 \cos 2(\theta + \alpha)$$

Désignons par M la masse des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif dans la direction de la course du piston. La force accélératrice qui agit sur cette masse M a pour expression :

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = -M \omega^2 r \cos(\theta + \alpha) - M \omega^2 \frac{r^2}{l} \cos 2(\theta + \alpha)$$

et la force d'inertie alternative produite par le mouvement de ces organes a pour expression :

$$(1) \quad \Phi = -M \frac{d^2x}{dt^2} = M \omega^2 r \cos(\theta + \alpha) + M \omega^2 \frac{r^2}{l} \cos 2(\theta + \alpha)$$

Interprétation graphique de la formule qui donne la valeur Φ à chaque instant :

Le premier terme de l'expression précédente :

$$\Phi_1 = M \omega^2 r \cos(\theta + \alpha)$$

représente la force d'inertie alternative due aux organes animés d'un

mouvement rectiligne alternatif lorsque la bielle est supposée infiniment longue.

Avec M^r Dalby, auquel nous empruntons toute cette théorie de l'équilibrage des machines, nous donnerons à la force Φ_1 le nom de force d'inertie alternative du premier ordre.

Le second terme de l'expression (1) peut s'écrire :

$$\Phi_2 = M_1 (2\omega)^2 \left(\frac{r^2}{4l} \right) \cos 2(\theta + \alpha)$$

Posons :

$$\omega' = 2\omega \quad r' = \frac{r^2}{4l} \quad 2(\theta + \alpha) = \theta' + \alpha'$$

ce terme devient :

$$\Phi_2 = M \omega'^2 r' \cos(\theta' + \alpha')$$

On voit que ce terme est de même forme que Φ_1 et peut s'interpréter d'une manière analogue.

À l'extrémité d'un rayon de manivelle de longueur $r' = \frac{r^2}{4l}$; supposons concentrée une masse M , imaginons que le rayon de manivelle considérée fasse à chaque instant, dans la direction du mouvement, avec la ligne OZ un angle double de l'angle fait à cet instant avec cette même ligne par le rayon de la manivelle véritable. Supposons enfin que ce rayon de manivelle tourne avec une vitesse deux fois plus grande que le rayon de la manivelle véritable, la projection sur l'axe OZ de la réaction centrifuge due à cette masse M est égale à Φ_2 .

On donne au terme de correction Φ_2 le nom de force d'inertie alternative du second ordre.

On voit donc que si l'on considère la force d'inertie alternative (non équilibrée) due à la masse M , animée d'un mouvement rectiligne alternatif, on peut décomposer en deux parties cette force d'inertie :

1^o La force d'inertie alternative de premier ordre, qui est simplement la projection, sur la direction de la course du piston de la force centrifuge due à une masse égale à celle des organes animés d'un mouvement

rectiligne alternatif que l'on suppose concentrée au bouton de manivelle.

2^e - La force d'inertie alternative de second ordre, qui est la projection, sur la direction de la course du piston, de la force centrifuge due à une masse égale à celle des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif, masse que l'on suppose concentrée à l'extrémité d'un rayon fictif de manivelle égal à $\frac{r}{4\epsilon}$ fois le rayon vrai, et tournant dans le même plan que celui-ci avec une vitesse deux fois plus grande.

Ceci posé remplaçons les forces d'inertie alternatives du premier et du second ordre par les forces centrifuges dont elles sont la projection sur la direction de la course du piston. En d'autres termes, supposons que la masse M des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif soit concentrée d'une part à l'extrémité du rayon de la manivelle réelle et d'autre part à l'extrémité de la manivelle fictive et considérons les forces centrifuges que ces masses font naître.

Preons d'autre part sur l'axe de rotation un point O et un plan de référence normal à l'axe passant par ce point. Transportons parallèlement à elles-mêmes en ce point les forces centrifuges que nous venons de définir et qui se projettent sur la direction de la course du piston suivant les forces d'inertie alternatives du premier et du second ordre. Ce transport fait naître deux couples.

Après ce transport, l'axe de rotation est soumis aux actions suivantes.

1^o - Force centrifuge due à la masse M supposée concentrée à l'extrémité r du rayon de manivelle et dont la vitesse angulaire de rotation est égale à ω ,

a) - une force $M\omega^2 r$ égale et parallèle à la force centrifuge due à la masse M et qui est représentée en Oa sur la figure 23;

b) - un couple dont l'axe a pour longueur $M\omega^2 r^2 \epsilon$ et qui est représenté en OA sur la figure 23.

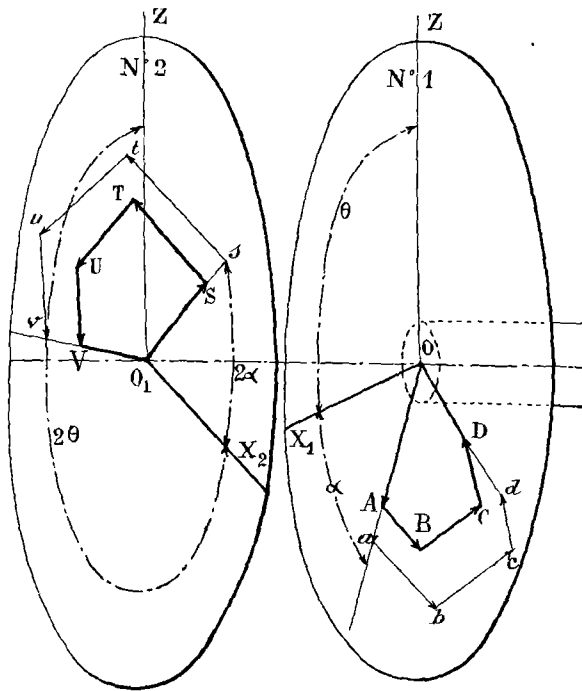


Fig. 23.

2°. Force centrifuge due à la masse M supposée concentrée à l'extrémité du rayon de manivelle fictif de longueur $\frac{r^2}{4l}$ tournant avec la vitesse angulaire de rotation 2ω ,

c) une force $\frac{M\omega^2 r^2}{l}$ égale et parallèle à la réaction centrifuge due à la masse M et représentée en $O_1 S$ sur un plan de référence qui coïncide avec le premier, mais que pour la clarté de la figure, on a représenté à part (Fig. 23);

d) un couple dont l'axe a pour grandeur $\frac{M\omega^2 r^2}{l} a$, qui est représenté en $O_2 S$ sur la figure 23.

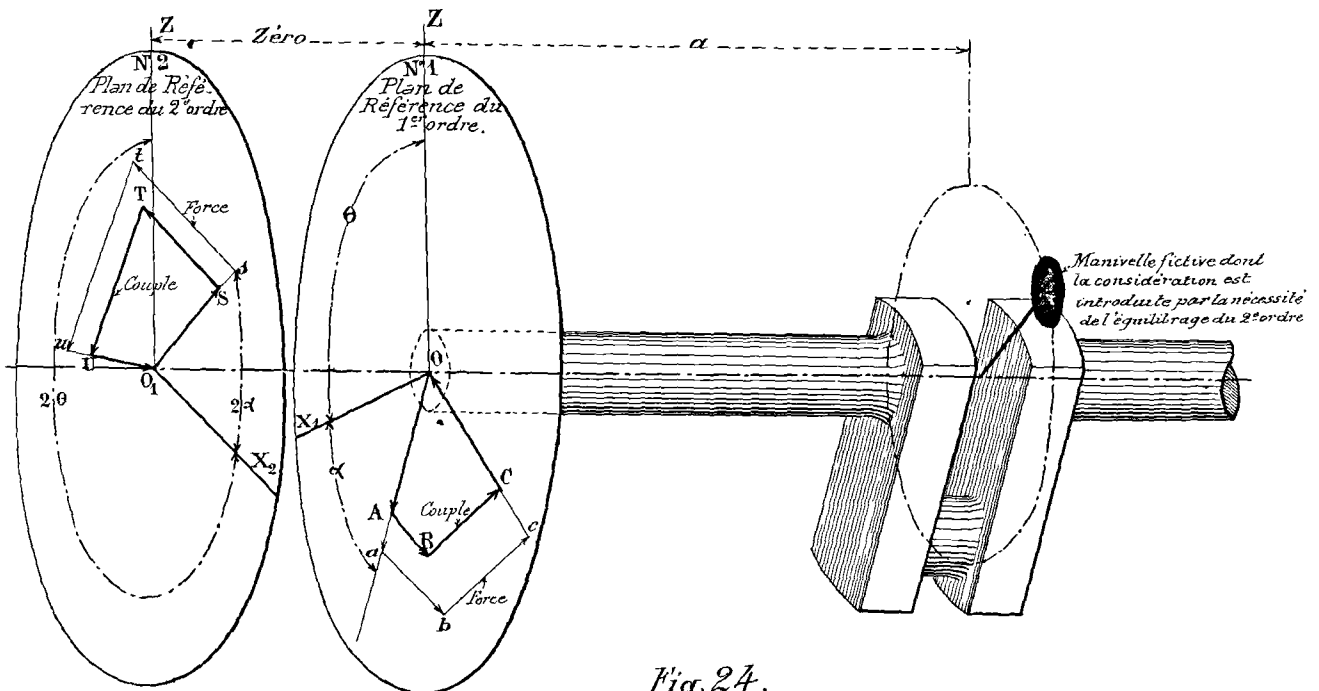


Fig. 24.

Plans de Référence

(Dalby. The Balancing of Engines. p. 129)

Cas où il y a sur un même arbre plusieurs manivelles ayant le même rayon.

Quand il y a sur un même arbre plusieurs manivelles ayant le même rayon, on effectue pour les masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif et correspondant à chaque manivelle les transformations que nous venons d'indiquer. On considère pour chacune de ces masses la force d'inertie alternative du premier ordre et la force d'inertie alternative du second ordre. On substitue à ces forces d'inertie les forces centrifuges dont elles sont les projections sur la direction de la course du piston. On transporte ces forces centrifuges parallèlement à elles-mêmes en un point O de l'axe de rotation et on considère dans le plan de référence passant par ce point les axes des couples auxquels on donne naissance par ce transport. On compose alors les forces centrifuges substituées aux forces d'inertie alternatives et les axes des couples.

On obtient ainsi :

- m) — une force centrifuge résultante du 1^{er} ordre ;
- n) — ————— id. ————— du 2^{me} ordre ;
- p) — un couple résultant de force centrifuge du 1^{er} ordre ;
- q) — ————— id. ————— du 2^{me} ordre.

Les projections de ces résultantes sur la direction de la course du piston donnent :

- r) — la force d'inertie alternative résultante du 1^{er} ordre ;
- s) — ————— id. ————— du 2^{me} ordre ;
- t) — le couple de forces d'inertie alternative résultant du 1^{er} ordre ;
- u) — ————— id. ————— du 2^{me} ordre.

Si, par exemple, il y a 4 manivelles sur l'axe,

- α) — les forces centrifuges du 1^{er} ordre sont représentées par les vecteurs Oa, ab, bc, cd et la force centrifuge résultante, par le vecteur Od (Fig. 23) ;
- β) — les forces centrifuges du 2^{me} ordre, par les vecteurs O, s, st, tu, uv et la force centrifuge résultante par le vecteur O, v (Fig. 23) ;
- γ) — les axes des couples centrifuges du 1^{er} ordre, par les vecteurs

OA, AB, BC, CD et l'axe du couple résultant par le vecteur OD (Fig. 23);

5° - les axes des couples centrifuges du 2^me ordre, par les vecteurs $O, S, ST, T U, UV$ et l'axe du couple résultant par le vecteur O, V (Fig. 23).

Et pour que ces forces centrifuges se fassent équilibre, il est nécessaire et suffisant :

- 1° - que la résultante Od des forces centrifuges du 1^{er} ordre soit nulle;
- 2° - que l'axe OD du couple centrifuge résultant du 1^{er} ordre soit nul;
- 3° - que la résultante O, v des forces centrifuges du 2^me ordre soit nulle;
- 4° - que l'axe O, V du couple centrifuge résultant du 2^me ordre soit nul.

En d'autres termes, les conditions nécessaires et suffisantes pour que les forces centrifuges considérées se fassent équilibre sont que les lignes brisées

$Oabc, OABC, O, stuv, O, STU$

forment des polygones fermés. (Fig. 24).

En écrivait ces conditions, nous sommes certains d'exprimer que les forces d'inertie alternatives dues aux organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif se font équilibre.

En effet, quels que soient, dans le plan de référence, les positions des polygones précédents, leur projection sur une droite tracée dans ce plan parallèlement à la direction commune des courses des piston - et toujours nulle. Et une telle projection représente, suivant le polygone choisi, soit la résultante des forces d'inertie alternatives du premier ou du second ordre; soit le couple résultant des couples d'inertie alternatifs du premier et du second ordre.

Voici dès lors comment se pose le problème dont nous allons dans ce paragraphe, développer diverses solutions.

Étant donnée une machine à plusieurs manivelles, est-il possible d'équilibrer les forces d'inertie alternatives en choisissant des poids convenables pour les organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif et en distribuant convenablement les manivelles autour de l'axe ?

Dans les cas où un tel problème peut être résolu, on dit que l'on équilibre par elles-mêmes, sans addition de masses complémentaires, les forces d'inertie alternatives.

En voit en quoi ce problème diffère de celui qui vient d'être traité dans le paragraphe précédent. Si on suppose la bielle infiniment longue, les méthodes exposées au paragraphe précédent permettent, en employant des masses additionnelles ou, comme on dit, des contrepoids convenablement choisis, d'équilibrer les forces d'inertie alternatives. Cet équilibrage d'ailleurs n'est qu'approximatif, puisque l'on suppose négligeables les forces d'inertie du second ordre. Les méthodes de détermination des contre-poids dont nous avons parlé plus haut ne permettent donc d'équilibrer que les forces d'inertie alternatives du premier ordre. Dans le paragraphe actuel, nous nous proposons de rechercher dans quelle mesure on peut, sans l'addition de contrepoids, équilibrer complètement les forces d'inertie alternatives.

Remarque.

Dans tout ce qui va suivre nous allons parler à peu près uniquement de l'équilibrage des forces d'inertie alternatives parce que cet équilibrage est le plus important à obtenir. Mais il convient de remarquer que la même méthode permet de rechercher l'équilibrage par elles-mêmes des masses animées d'un mouvement de rotation, c'est à dire des manivelles et des parties de bielle dont le mouvement peut être considéré comme participant du mouvement de rotation du bouton de manivelle.

Il nous reste donc à exprimer les conditions pour que les masses des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif s'équilibrent d'elles-mêmes

Conditions pour que les masses des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif s'équilibrent d'elles-mêmes.

Rappelons que ces conditions sont les suivantes:

- 1^o Le polygone des forces centrifuges de 1^{er} ordre doit être fermé;
- 2^o Le polygone des axes des couples centrifuges du 1^{er} ordre doit être fermé.

Ces deux conditions constituent ce que nous appellerons
avec M^r Dalby l'équilibrage du 1^{er} ordre (Primary Balancing).

3^e - Le polygone des forces centrifuges de 2^{me} ordre doit être fermé;

4^e - Le polygone des axes des couples centrifuges du 2^e ordre doit être fermé.

Nous désignerons ces conditions sous le nom d'équilibrage du 2^e ordre (Secondary Balancing)⁽¹⁾.

Conditions analytiques qui expriment
l'équilibrage des masses animées
d'un mouvement rectiligne alternatif.

Les divers polygones que nous venons d'énumérer
sont tous tracés dans le plan de référence qui a été
choisi. Pour qu'ils soient fermés, il est nécessaire et
suffisant que leurs projections sur deux axes rectangulaires tracés
dans ce plan de référence soient égales à zéro.

Supposons, ce qui a lieu en général, que les axes de tous les
cylindres de la machine soient dans un même plan vertical qui
contient la direction commune des courses des pistons. Ce plan coupe
le plan de référence suivant une droite parallèle à cette direction
commune de la course des pistons. Prenons cette droite comme axe OX
et la droite qui lui est perpendiculaire dans le plan de référence
comme axe OY. D'après ce que nous avons dit plus haut si, à un
instant donné, β est l'angle que fait une manivelle avec OX, 2β est
l'angle que fait avec OX la manivelle fictive correspondant à la mani-
velle réelle et dont l'introduction est nécessitée par la présence du
terme correctif résultant de la longueur finie de la bielle. Il en est de
même des côtés des polygones d'équilibrage de 1^{er} ordre et d'équilibrage
de 2^{me} ordre que nous venons de considérer.

Soient pour les grandeurs et les angles avec OX des forces
centrifuges de 1^{er} ordre :

⁽¹⁾ W. E. Dalby. - The Balancing of Engines. p. 124.

$M_1 \omega^2 r$	β_1	en supposant que
$M_2 \omega^2 r$	β_2	les manivelles aient
$M_3 \omega^2 r$	β_3	toutes le même rayon.

Les valeurs et les angles avec OX des forces centrifuges de 2^e ordre ont pour valeurs:

$\frac{M_1 \omega^2 r^2}{\ell}$	$2\beta_1$	en supposant que
$\frac{M_2 \omega^2 r^2}{\ell}$	$2\beta_2$	les bielles aient toutes
$\frac{M_3 \omega^2 r^2}{\ell}$	$2\beta_3$	la même longueur.

Les axes des couples centrifuges du 1^{er} ordre ont pour grandeurs et pour angles avec OX,

$M_1 a_1 \omega^2 r$	β_1
$M_2 a_2 \omega^2 r$	β_2
$M_3 a_3 \omega^2 r$	β_3

Les grandeurs et les angles avec OX des axes des couples centrifuges de 2^e ordre sont:

$\frac{M_1 \omega^2 r^2}{\ell} a_1$	$2\beta_1$
$\frac{M_2 \omega^2 r^2}{\ell} a_2$	$2\beta_2$
$\frac{M_3 \omega^2 r^2}{\ell} a_3$	$2\beta_3$

Les sommes des projections sur les axes OX et OY des quatre polygones dont nous avons parlé plus haut sont les suivantes :

Polygone des forces centrifuges du 1 ^{er} ordre	{	Projection sur OX	$M_1 \omega^2 r \cos \beta_1 + M_2 \omega^2 r \cos \beta_2 + M_3 \omega^2 r \cos \beta_3 + \dots$
		Projection sur OY	$M_1 \omega^2 r \sin \beta_1 + M_2 \omega^2 r \sin \beta_2 + M_3 \omega^2 r \sin \beta_3 + \dots$

Polygone des axes des couples centrifuges du 1 ^{er} ordre	{	Projection sur OX	$M_1 a_1 \omega^2 r \cos \beta_1 + M_2 a_2 \omega^2 r \cos \beta_2 + M_3 a_3 \omega^2 r \cos \beta_3 + \dots$
		Projection sur OY	$M_1 a_1 \omega^2 r \sin \beta_1 + M_2 a_2 \omega^2 r \sin \beta_2 + M_3 a_3 \omega^2 r \sin \beta_3 + \dots$

Polygone des forces centrifuges du 2 ^e ordre.	{	Projection sur OX	$\frac{M_1 \omega^2 r^2}{\ell} \cos 2\beta_1 + \frac{M_2 \omega^2 r^2}{\ell} \cos 2\beta_2 + \frac{M_3 \omega^2 r^2}{\ell} \cos 2\beta_3 + \dots$
		Projection sur OY	$\frac{M_1 \omega^2 r^2}{\ell} \sin 2\beta_1 + \frac{M_2 \omega^2 r^2}{\ell} \sin 2\beta_2 + \frac{M_3 \omega^2 r^2}{\ell} \sin 2\beta_3 + \dots$

Polygone des axes des couples centrifuges du 2^e ordre.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Projection sur OX} \quad \frac{M_1 \omega^2 r^2}{\rho} a_1 \cos 2\beta_1 + \frac{M_2 \omega^2 r^2}{\rho} a_2 \cos 2\beta_2 + \frac{M_3 \omega^2 r^2}{\rho} a_3 \cos 2\beta_3 + \dots \\ \text{Projection sur OY} \quad \frac{M_1 \omega^2 r^2}{\rho} a_1 \sin 2\beta_1 + \frac{M_2 \omega^2 r^2}{\rho} a_2 \sin 2\beta_2 + \frac{M_3 \omega^2 r^2}{\rho} a_3 \sin 2\beta_3 + \dots \end{array} \right.$$

Mais remarquons que l'on a :

$$\cos 2\beta = \cos^2 \beta - \sin^2 \beta$$

$$\sin 2\beta = 2 \sin \beta \cos \beta$$

$$1 = \sin^2 \beta + \cos^2 \beta.$$

Les équations d'équilibrage peuvent alors s'écrire :

Equilibrage du premier ordre

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega^2 r (M_1 \cos \beta_1 + M_2 \cos \beta_2 + M_3 \cos \beta_3 + \dots) = 0 \\ \omega^2 r (M_1 \sin \beta_1 + M_2 \sin \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 + \dots) = 0 \\ \omega^2 r (M_1 a_1 \cos \beta_1 + M_2 a_2 \cos \beta_2 + M_3 a_3 \cos \beta_3 + \dots) = 0 \\ \omega^2 r (M_1 a_1 \sin \beta_1 + M_2 a_2 \sin \beta_2 + M_3 a_3 \sin \beta_3 + \dots) = 0 \end{array} \right.$$

Equilibrage du second ordre

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\omega^2 r^2}{\rho} [M_1 (\cos^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_1) + M_2 (\cos^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_2) + M_3 (\cos^2 \beta_3 - \sin^2 \beta_3) + \dots] = 0 \\ 2 \frac{\omega^2 r^2}{\rho} [M_1 \sin \beta_1 \cos \beta_1 + M_2 \sin \beta_2 \cos \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 \cos \beta_3 + \dots] = 0 \\ \frac{\omega^2 r^2}{\rho} [M_1 a_1 (\cos^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_1) + M_2 a_2 (\cos^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_2) + M_3 a_3 (\cos^2 \beta_3 - \sin^2 \beta_3) + \dots] = 0 \\ 2 \frac{\omega^2 r^2}{\rho} [M_1 a_1 \sin \beta_1 \cos \beta_1 + M_2 a_2 \sin \beta_2 \cos \beta_2 + M_3 a_3 \sin \beta_3 \cos \beta_3 + \dots] = 0 \end{array} \right.$$

ou, en remarquant que la vitesse de rotation ω n'est pas nulle, ces équations deviennent :

Equilibrage du premier ordre

$$\left\{ \begin{array}{l} (2) \quad M_1 \cos \beta_1 + M_2 \cos \beta_2 + M_3 \cos \beta_3 + \dots = 0 \\ (3) \quad M_1 \sin \beta_1 + M_2 \sin \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 + \dots = 0 \\ (4) \quad M_1 a_1 \cos \beta_1 + M_2 a_2 \cos \beta_2 + M_3 a_3 \cos \beta_3 + \dots = 0 \\ (5) \quad M_1 a_1 \sin \beta_1 + M_2 a_2 \sin \beta_2 + M_3 a_3 \sin \beta_3 + \dots = 0 \end{array} \right.$$

Equilibrage du second ordre

$$\left\{ \begin{array}{l} (6) \quad M_1 (\cos^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_1) + M_2 (\cos^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_2) + M_3 (\cos^2 \beta_3 - \sin^2 \beta_3) + \dots = 0 \\ (7) \quad M_1 \sin \beta_1 \cos \beta_1 + M_2 \sin \beta_2 \cos \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 \cos \beta_3 + \dots = 0 \\ (8) \quad M_1 a_1 (\cos^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_1) + M_2 a_2 (\cos^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_2) + M_3 a_3 (\cos^2 \beta_3 - \sin^2 \beta_3) + \dots = 0 \\ (9) \quad M_1 a_1 \sin \beta_1 \cos \beta_1 + M_2 a_2 \sin \beta_2 \cos \beta_2 + M_3 a_3 \sin \beta_3 \cos \beta_3 + \dots = 0 \end{array} \right.$$

Telles sont les équations qui donnent toutes les conditions de l'équilibrage par elles-mêmes des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif. Nous devons faire, à propos de ces équations, un certain nombre de remarques.

Nombre des inconnues que renferment les équations (2) à (9). Les équations ne contiennent que les rapports :

$$\frac{M_2}{M_1}, \frac{M_3}{M_1}, \dots$$

c'est à dire (n-1) rapports si le nombre des manivelles ou des cylindres de la machine est égal à n.

Elles ne contiennent aussi que les rapports :

$$\frac{a_2}{a_1}, \frac{a_3}{a_1}, \dots$$

c'est à dire encore (n-1) rapports si le nombre des cylindres de la machine est égal à n.

Enfin les angles $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ que les manivelles font à un instant quelconque avec une ligne fixe telle que OX ne sont pas indépendants entre eux. En effet les manivelles font entre elles des angles qui restent les mêmes pendant la durée du mouvement. On a, en désignant par

$$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n-1}$$

ces angles dont la détermination est l'un des éléments les plus importants du problème,

$$\beta_2 = \beta_1 + \alpha_1 \quad \beta_3 = \beta_1 + \alpha_2 \quad \dots \quad \beta_n = \beta_1 + \alpha_{n-1}.$$

On voit donc que l'on peut toujours prendre $\beta_1 = 0$ et remplacer les angles β_2, \dots, β_n par les angles $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n-1}$. Les équations ne contiennent donc de ce chef que (n-1) angles à déterminer.

On voit donc finalement que si la machine comprend n manivelles, le nombre des variables dont il faut connaître la valeur pour résoudre le problème, nombre de variables introduit dans les équations (2) à (9), est égal à

$$3(n-1).$$

Ainsi, dans le cas d'une machine à deux manivelles, ce nombre de grandeurs qu'il est nécessaire de connaître est égal à $3(2-1) = 3$;

dans le cas d'une machine à 3 manivelles, il est de $3(3-1) = 6$;
dans le cas d'une machine à 4 manivelles, il est de $3(4-1) = 12$, etc...

Remarque I.

Tout ce que nous venons de dire suppose que l'on ne se donne d'abord aucun des rapports $\frac{M_2}{M_1}, \frac{M_3}{M_1}, \dots$; $\frac{a_2}{a_1}, \frac{a_3}{a_1}, \dots$; ni aucun des angles $(\beta_1, \beta_2, \dots)$. Souvent on se fixe quelques-unes de ces quantités et le nombre des inconnues à déterminer est diminué d'autant. Supposons, ce qui arrive souvent, que l'on se donne les distances, les uns par rapport aux autres, des axes de symétrie des cylindres. Cela revient à se fixer les rapports $\frac{a_2}{a_1}, \frac{a_3}{a_1}, \dots$ des distances à un plan de référence arbitraire des plans de symétrie des cylindres. Dans ce cas le nombre des quantités à déterminer pour résoudre le problème devient égal à

$$2(n-1)$$

Remarque II.

Supposons que l'on connaisse le nombre des grandeurs à déterminer pour résoudre le problème. Il peut se produire 3 cas :

1^o - Le nombre des variables à déterminer est supérieur à 8. (Equations 2^a à 9).

Dans ce cas, les masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif peuvent être complètement équilibrées en prenant arbitrairement quelques-unes de ces variables.

2^o - Le nombre des variables à déterminer est égal à 8.

Les équations (2) à (9) déterminent complètement les grandeurs qui définissent le système dans lequel les masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif sont équilibrées d'elles-mêmes.

3^o - Le nombre des variables à déterminer est inférieur à 8.

Dans ce cas, il n'est pas possible que l'équilibrage de premier ordre et l'équilibrage de second ordre des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif soient produits sans addition de masses d'équilibrage complémentaires.

Supposons que nous ayons une machine à 3 manivelles dans laquelle on se donne les distances réciproques des plans de symétrie des

des cylindres, c'est à dire dans laquelle on se donne les rapports $\frac{a_2}{a_1}, \frac{a_3}{a_1}$. Le nombre des variables qui définissent le système des masses qui doivent s'équilibrer par elles-mêmes est égal à $2(n-1) = 4$. Or ces 4 variables ne peuvent satisfaire qu'à 4 des 8 équations (2) à (9), les quatre autres équations n'étant pas en général satisfaites. Il n'est donc pas possible, dans ce cas, de produire en même temps, sans addition de masses d'équilibrage, l'équilibrage de premier ordre et l'équilibrage de second ordre des masses animés d'un mouvement rectiligne alternatif.

Choix des équations qui expriment l'équilibrage.

Une question se pose ici. Quand le nombre des variables à déterminer est inférieur à 8, peut-on parmi les équations (2) à (9), choisir d'une manière arbitraire celles qui doivent déterminer ces variables? Il n'en est rien, comme le montrent les propositions suivantes.

Proposition I - Le nombre des équations de condition est toujours pair et on doit toujours prendre à la fois les groupes d'équations [(2), (3)], [(4), (5)], [(6), (7)], [(8), (9)].

En effet, chacun de ces groupes d'équations est nécessaire et suffisant pour exprimer que l'un ou l'autre des polygones de forces centrifuges ou de couples centrifuges est fermé.

Proposition II - Le groupe d'équations [(4), (5)] doit toujours être accompagné du groupe [(2), (3)] et le groupe [(8), (9)] du groupe [(6), (7)].

En effet, les conditions exprimées par le groupe d'équations [(4), (5)] d'une part et par le groupe [(8), (9)] d'autre part, doivent être indépendantes de la position du plan de référence.

Déplaçons ce plan de référence parallèlement à lui-même d'une longueur A . Les distances a_1, a_2, \dots, a_n deviennent, par exemple, $a_1 + A, a_2 + A, a_3 + A, \dots$. On doit avoir, si les conditions exprimant que les polygones des axes des couples de 1^{er} et de 2^e ordre sont fermés sont indépendantes de la position du plan de référence :

$$M_1(a_1 + A) \cos \beta_1 + M_2(a_2 + A) \cos \beta_2 + \dots = 0$$

$M_1(a_1+A)\sin\beta_1 + M_2(a_2+A)\sin\beta_2 + \dots = 0$
 ou bien :

$$M_1 a_1 \cos\beta_1 + M_2 a_2 \cos\beta_2 + \dots + A(M_1 \cos\beta_1 + M_2 \cos\beta_2 + \dots) = 0$$

$$M_1 a_1 \sin\beta_1 + M_2 a_2 \sin\beta_2 + \dots + A(M_1 \sin\beta_1 + M_2 \sin\beta_2 + \dots) = 0.$$

Or on ne peut avoir ces dernières conditions que si à la fois les équations [(2), (3)] sont vérifiées en même temps que les équations [(4), (5)].

Il n'est donc pas possible de supposer que les équations [(4), (5)] sont vérifiées sans que les équations [(2), (3)] le soient, et de même que les équations [(8), (9)] soient vérifiées sans que les équations [(6) et (7)] le soient.

Mais la réciproque n'est pas vraie. On peut supposer que le groupe des équations [(2), (3)] est vérifié sans que le groupe des équations (4), (5) le soit et de même que le groupe des équations [(6) et (7)] est vérifié sans que le groupe des équations [(8), (9)] le soit.

Par exemple, cherchons quel choix de quatre équations (nous donnons les rapports $\frac{a_2}{a_1}, \frac{a_3}{a_1}$) nous devons faire pour avoir les circonstances dans lesquelles peut se produire dans une machine à trois manivelles l'équilibrage (sans addition de masses complémentaires) des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif. D'après ce que nous venons de dire, on ne peut choisir que deux groupes d'équations :

les groupes [(2), (3)] [(4), (5)]

les groupes [(2), (3)] [(6), (7)].⁽¹⁾

D'où la possibilité de suivre deux voies différentes pour produire l'équilibrage par elles-mêmes des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif.

⁽¹⁾ Théoriquement, on pourrait prendre les groupes [(6), (7)] [(8), (9)].

Mais on produirait ainsi uniquement l'équilibrage des réactions d'inertie et des couples d'inertie de second ordre, en laissant de côté l'équilibrage de premier ordre dont l'importance pratique est plus grande que l'autre, puisque dans un très grand nombre de cas, l'équilibrage du 1^{er} ordre suffit.

Ou bien équilibrer les forces d'inertie alternatives et les couples d'inertie du premier ordre, en laissant non équilibrées les forces d'inertie et les couples d'inertie du second ordre;

Ou bien équilibrer les forces d'inertie du premier et du second ordre en laissant non équilibrés les couples d'inertie des deux ordres.

Il n'est pas possible de trouver une disposition des 3 manivelles ou des valeurs des masses animées du mouvement rectiligne alternatif qui donnent une solution différente de celles que nous venons d'indiquer. Il reste, dans la pratique, à étudier chaque cas d'équilibrage partiel de manière à choisir la solution qui donne les meilleurs résultats.

§ 5 — Application de la méthode précédente à l'équilibrage, sans addition de masses complémentaires, des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif.

Nous allons maintenant montrer, pour différents types de moteurs, comment la méthode précédente s'applique à l'équilibrage, sans addition de masses complémentaires, des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif. Nous pouvons en particulier nous rendre compte du degré d'équilibrage qui est atteint, au point de vue des forces d'inertie, dans les moteurs d'automobiles ⁽¹⁾

I. Moteurs à une seule manivelle. Dans les moteurs à une seule manivelle, il est impossible d'équilibrer les parties animées d'un mouvement rectiligne alternatif sans l'addition d'aucune autre masse animée d'un mouvement rectiligne alternatif ou sans l'addition d'un contrepois animé d'un

(1) M^r Marcel Caplet, ingénieur constructeur au Havre, bien connu du monde de l'automobile par ses travaux sur l'équilibrage des moteurs, a bien voulu me communiquer sur ce sujet quelques notes inédites qui m'ont beaucoup servi à la rédaction de cette partie du cours; je suis heureux de profiter de cette occasion pour le remercier de l'amabilité avec laquelle il a bien voulu répondre aux renseignements que je lui ai demandés.

mouvement de rotation autour de l'axe).

En effet le nombre des conditions qui devraient être satisfaites pour qu'il en fût ainsi est en général, d'après ce que nous avons vu, égal à $3(n-1)$, n étant le nombre des manivelles. Or dans le cas actuel, on a $n=1$, ce qui donne zéro pour l'expression $3(n-1)$.

On se contente alors, dans la plupart des cas, d'équilibrer les masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif (piston + partie de la bielle) en même temps que les masses animées d'un mouvement de rotation autour de l'axe (manivelle + partie de la bielle) en supposant infinie la longueur de la bielle. On emploie alors, comme c'est le cas dans le moteur de Dion à un cylindre, un contrepooids dont le centre de gravité se trouve dans le plan de rotation du rayon de manivelle. On équilibre ainsi la force d'inertie alternative du piston et d'une partie de la bielle ainsi que la force centrifuge de la manivelle et de l'autre partie de la bielle. Mais on fait naître perpendiculairement au plan dans lequel se trouve la direction de la course du piston une composante d'inertie non équilibrée, comme nous l'avons déjà fait remarquer pour les locomotives. Si le moteur était horizontal, cette composante non équilibrée aurait pour effet de faire naître une composante verticale d'inertie qui, à un moment donné, serait dirigée de haut en bas et qui, à l'instant suivant séparé du premier par un temps égal à la durée de la demi-révolution du moteur, serait dirigée de bas en haut. Il résulterait de là des variations dans la flexion des ressorts de la voiture, variations qui donneraient à celle-ci un mouvement de balancement autour d'un axe horizontal. ⁽¹⁾ Au contraire, si le moteur est vertical, la composante

(1) Si nous prenons le cas considéré plus haut d'un moteur d'automobile tournant à 1000 tours dans lequel le piston et les $\frac{2}{3}$ de la bielle ont un poids de $1^k,800$, le piston de ce moteur ayant une course de 12 centimètres, nous voyons que la composante verticale d'inertie introduite a une valeur maximum de 123 Kilogrammes. Par suite la pression sur les ressorts varie de -123 Kilogrammes à $+123$ Kilogrammes.

horizontale d'inertie que l'on introduit ainsi sans l'équilibrer donne encore un effet perturbateur mais dans une direction perpendiculaire à celle de la course du piston, direction où la flexion des ressorts de la voiture est presque nulle, ce qui atténue l'effet produit. Il est donc préférable, comme nous le voyons, d'employer dans ce cas un moteur vertical plutôt qu'un moteur horizontal.

II - Moteurs à

deux manivelles. Considérons maintenant le cas d'un moteur à 2 manivelles. Dans l'expression $3(n-1)$, $n=2$ et par suite :

$$3(n-1) = 3.$$

Trois des équations (2) à (9) du paragraphe précédent doivent être vérifiées par les variables qui définissent le système dans lequel on doit produire l'équilibrage par elles-mêmes des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif.

Or, d'après la discussion que nous avons faite plus haut, le nombre des équations du problème est nécessairement pair. Les deux seuls groupes d'équations que l'on doit choisir sont donc :

soit le groupe [(2), (3)] ;

soit le groupe [(6), (7)].

Mais il est évident que l'on doit, de préférence, équilibrer les forces d'inertie alternatives les plus importantes, c'est à dire les forces d'inertie alternatives du premier ordre. Donc le seul groupe d'équations que l'on peut choisir pour résoudre le problème est le groupe [(2), (3)].

Écrivons les équations de ce groupe.

$$M_1 \cos \beta_1 + M_2 \cos \beta_2 = 0$$

$$M_1 \sin \beta_1 + M_2 \sin \beta_2 = 0$$

Nous voyons facilement que ces équations sont vérifiées par :

$$(A) \quad M_1 = M_2 \quad \beta_2 = \beta_1 + \pi$$

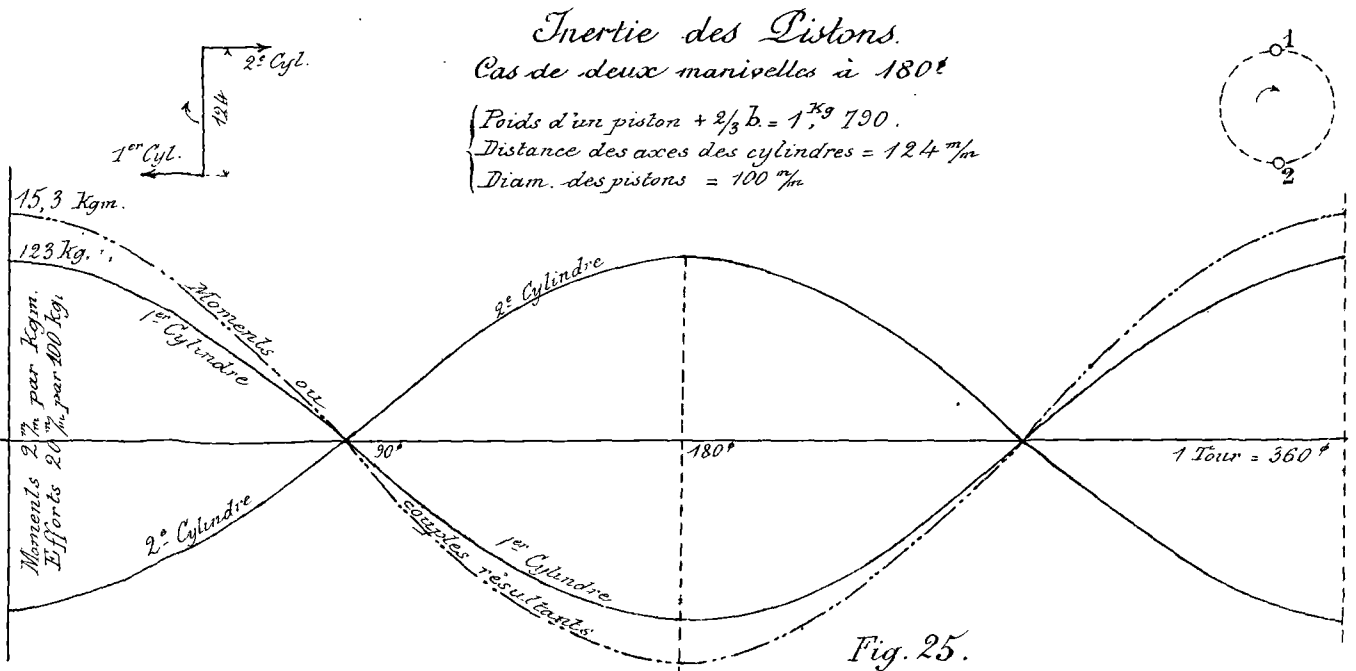
Pour équilibrer les forces d'inertie alternatives du premier ordre, sans addition de masses complémentaires il faut :

- 1^o - Disposer les manivelles à 180° l'une de l'autre ;
- 2^o - Rendre égales les masses des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif, c'est à dire les masses des pistons et des parties de bielle qui sont animées du même mouvement que les pistons.

Si on suppose réalisées les conditions (A) on voit :

- 1^o - Que le couple résultant non équilibré des forces d'inertie alternatives du 1^{er} ordre a pour valeur maximum : ⁽¹⁾

(1) Le couple $M_1 \omega^2 r (a_1 - a_2)$ est le couple résultant des forces centrifuges de 1^{er} ordre ; sa projection sur la direction de la course du piston donne à chaque instant la valeur du couple résultant des forces d'inertie alternatives du 1^{er} ordre. Les variations de ce couple sont représentées par une ligne interrompue sur la figure 25 qui est tracée pour une machine à 2 manivelles situées à 180° l'une de l'autre, la vitesse de rotation étant de 1000 tours par minute, les poids des pistons et des bielles étant ceux qui sont indiqués sur la figure. Les deux courbes en traits pleins représentent pour chacun des cylindres les variations des efforts d'inertie alternatifs du premier ordre, c'est à dire les valeurs des projections sur la direction de la course du piston de la force centrifuge $M_1 \omega^2 r$.



$$M_1 \omega^2 r (a_1 - a_2)$$

$(a_1 - a_2)$ étant la distance des plans de révolution des manivelles.

2^e - Que la résultante non équilibrée des forces d'inertie alternatives du second ordre a pour valeur maximum :

$$2M_1 \frac{\omega^2 r^2}{l}$$

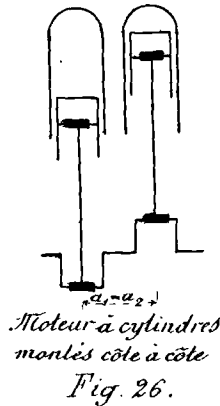
l étant la longueur de la bielle.

3^e - Que le couple résultant non équilibré des forces d'inertie alternatives du second ordre a pour expression :

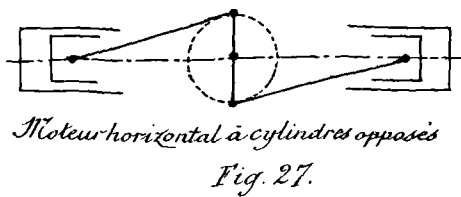
$$2M_1 \frac{\omega^2 r^2}{l} (a_1 + a_2)$$

a_1 et a_2 étant les distances à un plan de référence convenablement choisi des plans de révolution des rayons de manivelle.

Cas où le moteur n'a qu'un seul axe de rotation. Quand le moteur n'a qu'un seul axe de rotation, il est impossible d'équilibrer sans contrepoids le couple résultant des forces d'inertie alternatives du 1^{er} ordre, ainsi que les forces d'inertie alternatives du 2^e ordre. En effet, dans ce cas, on donne généralement au moteur l'un ou l'autre des dispositifs qui sont représentés dans les figures 26 et 27.



Mais, comme on le voit facilement, les plans de révolution des manivelles ne sont pas en coïncidence l'un avec l'autre; on est obligé, comme on dit de désaxer les cylindres. Mais le couple résultant non équilibré du 1^{er} ordre qui provient de cette nécessité de désaxer les cylindres, peut être diminué en rendant le produit $M_1 (a_1 - a_2)$ aussi petit que possible.



On y arrive :
1^o en allégeant autant que possible le poids du piston et de la bielle ou des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif;

2° - en diminuant la distance $(a_1 - a_2)$ des axes des cylindres.

Certains constructeurs diminuent cette distance $(a_1 - a_2)$ en adoptant pour l'axe de rotation non plus la forme représentée sur la figure 28, mais la forme représentée sur la figure 29, dans laquelle le palier central a été supprimé.

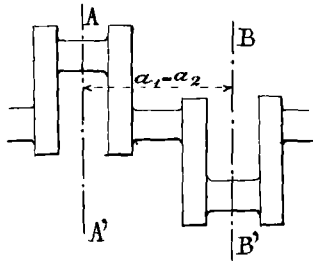


Fig. 28.

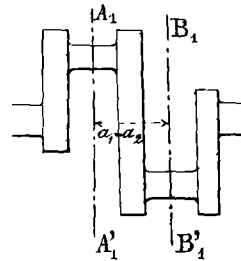


Fig. 29.

On a quelquefois tenté de laisser les cylindres dans le prolongement l'un de l'autre (moteurs horizontaux à cylindres opposés) en employant des bielles dissymétriques, ou mieux, par l'emploi de 3 manivelles;

les deux manivelles extrêmes à 180° avec la manivelle médiane sont alors attaquées par deux bielles ou par une bielle à fourche. ⁽¹⁾ Nous verrons plus loin les conditions qui sont imposées par l'emploi de trois manivelles.

On peut obtenir un meilleur équilibrage en employant un moteur à pistons opposés du type représenté par la figure 30, dans lequel l'emploi de balanciers B et B' permet de mettre les axes des cylindres dans le prolongement l'un de l'autre.

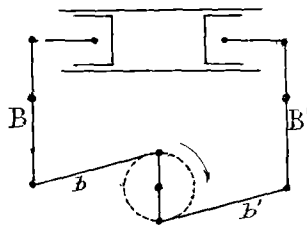


Fig. 30.

Il est facile de voir que les forces d'inertie alternatives du 1^{er} et du 2^{me} ordre engendrées par les masses des pistons et de leurs tiges sont complètement équilibrées. La masse M_1 , qui entre dans l'expression du couple d'inertie

$$M_1 \omega^2 r (a_1 - a_2)$$

comprend seulement les masses des bielles B et B' et celles des balanciers B

⁽¹⁾ F. Drouin - Les trépidations dans les voitures automobiles (Génie Civil. 22^e année. C.40. p. 92).

et B^2 . Le produit $M_1(a_1 - a_2)$ prend donc ici des valeurs plus petites que dans les autres cas, attendu que l'on a pu agir sur les deux facteurs M_1 et $(a_1 - a_2)$ pour les diminuer. L'équilibrage par elles-mêmes des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif est donc mieux réalisé avec ce type qu'avec les précédents.

Nous venons de voir des cas dans lesquels on peut diminuer sans l'annuler le couple des forces d'inertie alternatives de 1^{er} ordre. Dans tous ces cas, il est également impossible d'annuler la résultante et le couple résultant des forces d'inertie alternatives du second ordre. Mais on peut diminuer les valeurs de ces résultantes :

- 1^{er} - en diminuant la masse totale M_1 des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif ;
- 2^{es} - en diminuant le rapport $\frac{r}{l}$ du rayon de manivelle à la longueur de la bielle.

Cas où le moteur
comporte
2 manivelles.

Il y a cependant des cas où, avec deux manivelles, on peut équilibrer complètement les masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif. Ce sont les cas où le moteur, au lieu d'avoir un seul arbre de rotation possède deux arbres de rotation tournant en sens inverse l'un de l'autre.

Considérons un moteur à deux cylindres et à deux manivelles montées sur deux axes parallèles O_1 et O_2 , tel que celui qui est représenté dans la figure 31. Les plans de révolution des deux manivelles sont confondus. De plus, comme les axes O_1 et O_2 tournent en sens inverse, les manivelles se trouvent à chaque instant dans une position symétrique par rapport au plan de symétrie ZZ du moteur. Supposons que les masses des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif soient transportées aux extrémités des rayons de manivelle et cherchons si les forces centrifuges ainsi créées se font équilibre.

Prenez pour plan de référence le plan du papier qui est

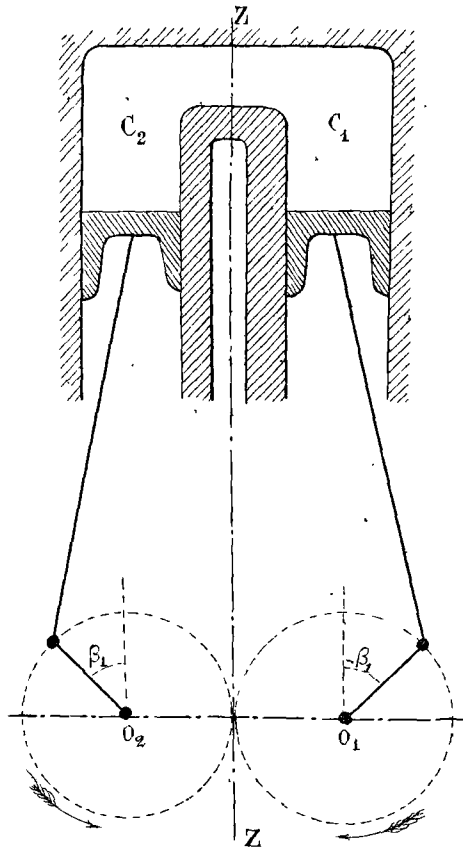


Fig. 31

le plan commun aux deux plans de révolution des manivelles. Écrivons que les forces centrifuges de 1^{er} ordre dues aux masses M_1 et M_2 se font équilibre, c'est à dire que la somme de leurs projections sur les 2 axes OX et OY est nulle. On a ainsi, en remarquant que les angles β_1 et β_2 sont comptés en sens inverse :

$$\begin{cases} \omega^2 (M_1 \cos \beta_1 + M_2 \sin \beta_2) = 0 \\ \omega^2 (M_1 \sin \beta_1 - M_2 \sin \beta_2) = 0 \end{cases}$$

d'où on déduit :

$$M_1 = M_2 \quad \text{tang} \beta_1 = - \text{tang} \beta_2 \quad \beta_1 = -\beta_2$$

Les forces centrifuges du 2^e ordre se font aussi équilibre. On a en effet,

$$2\beta_1 = -2\beta_2$$

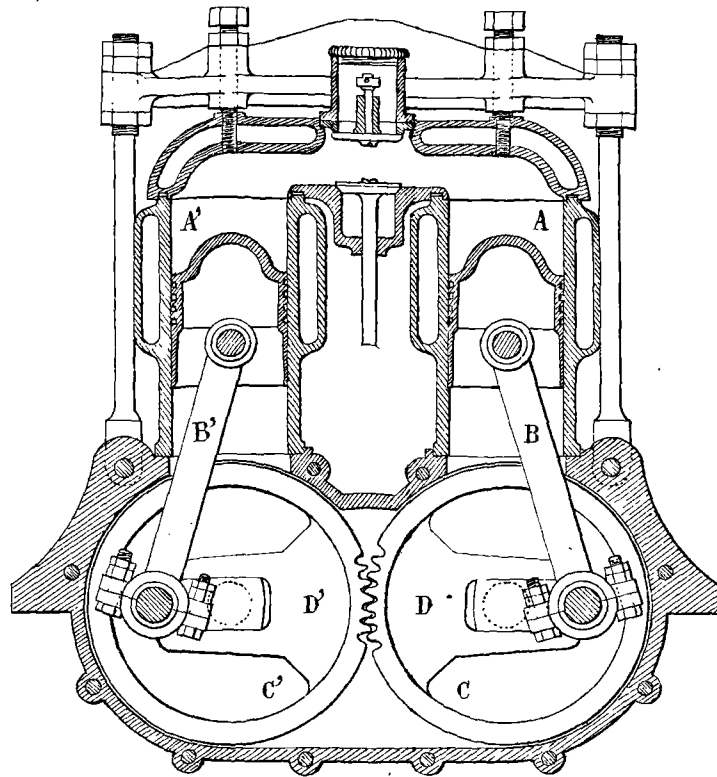
$$\text{et} \begin{cases} \frac{\omega^2 r^2}{l} (M_1 \cos 2\beta_1 + M_2 \cos 2\beta_2) = 0 \\ \frac{\omega^2 r^2}{l} (M_1 \sin 2\beta_1 + M_2 \sin 2\beta_2) = 0 \end{cases}$$

Enfin, on voit facilement que l'on n'a pas à considérer ici les couples des forces d'inertie au 1^{er} et au 2^e ordre.

On voit donc que, dans un tel moteur à deux manivelles, les forces d'inertie sont complètement équilibrées.

Le moteur dont nous venons de donner le schéma est le moteur Crozet qui est représenté dans la figure 32.⁽¹⁾ Le moteur se compose de deux cylindres parallèles AA' ayant une chambre d'explosion commune; les pistons agissent par des bielles B et B' sur des arbres reliés par

(1) Ce moteur présente l'inconvénient d'avoir un poids trop considérable, d'avoir un encombrement gênant et un effort moteur trop élevé obligeant à des pièces trop lourdes.



Moteur Crozet.
Fig. 32.

des engrenages C et C' qui assurent leur solidarité.

Le moteur horizontal Bardou, qui est dérivé du type précédent, est aussi construit de telle façon que les forces d'inertie soient entièrement équilibrées (Fig. 33).

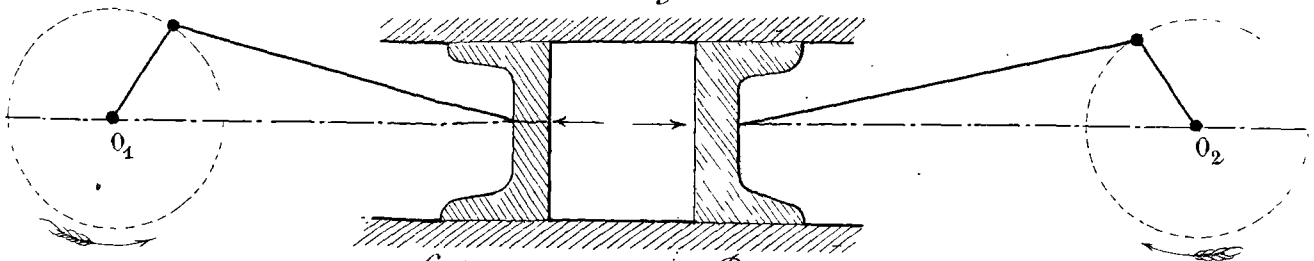


Schéma du moteur Bardou.
Fig. 33

III - Moteurs

à 3 manivelles. Considérons maintenant un moteur présentant 3 manivelles. Le nombre des variables qui définissent le système à équilibrer est ici :

$$3(3-1) = 6.$$

Si donc nous considérons les équations (2) à (9) du paragraphe précédent, six d'entre elles doivent être satisfaites. Comme les forces d'inertie du 1^{er} ordre doivent être équilibrées de préférence aux forces d'inertie du

2^{me} ordre), les 6 équations que l'on doit choisir sont les suivantes :

$$\begin{array}{l} \text{Equilibrage} \\ \text{des forces d'inertie} \\ \text{du 1^{er} ordre} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{Forces} \left\{ \begin{array}{l} M_1 \cos \beta_1 + M_2 \cos \beta_2 + M_3 \cos \beta_3 = 0 \\ M_1 \sin \beta_1 + M_2 \sin \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 = 0 \end{array} \right. \\ \text{Couples} \left\{ \begin{array}{l} M_1 a_1 \cos \beta_1 + M_2 a_2 \cos \beta_2 + M_3 a_3 \cos \beta_3 = 0 \\ M_1 a_1 \sin \beta_1 + M_2 a_2 \sin \beta_2 + M_3 a_3 \sin \beta_3 = 0 \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} \text{Equilibrage} \\ \text{des forces d'inertie} \\ \text{du 2^e ordre} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} M_1 (\cos^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_1) + M_2 (\cos^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_2) + M_3 (\cos^2 \beta_3 - \sin^2 \beta_3) = 0 \\ M_1 \sin \beta_1 \cos \beta_1 + M_2 \sin \beta_2 \cos \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 \cos \beta_3 = 0 \end{array} \right.$$

Mais il est toujours possible de choisir le plan de référence et la position de la manivelle 1 de telle sorte que l'on ait :

$$\beta_1 = 0 \quad a_1 = 0$$

c'est à dire que l'on écrit les équations pour l'instant où la manivelle 1 coïncide avec OX, le plan de référence coïncidant avec le plan de révolution de cette manivelle.

Les équations précédentes se transforment alors en les suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} (1) \quad M_1 + M_2 \cos \beta_2 + M_3 \cos \beta_3 = 0 \\ (2) \quad M_2 \sin \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 = 0 \\ (3) \quad M_2 a_2 \cos \beta_2 + M_3 a_3 \cos \beta_3 = 0 \\ (4) \quad M_2 a_2 \sin \beta_2 + M_3 a_3 \sin \beta_3 = 0 \\ (5) \quad M_1 + M_2 (\cos^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_2) + M_3 (\cos^2 \beta_3 - \sin^2 \beta_3) = 0 \\ (6) \quad M_2 \sin \beta_2 \cos \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 \cos \beta_3 = 0 \end{array} \right.$$

De l'équation (2), on tire : $M_3 \sin \beta_3 = -M_2 \sin \beta_2$

L'équation (6) devient alors

$$M_2 \sin \beta_2 (\cos \beta_2 - \cos \beta_3) = 0$$

Comme M_2 n'est pas nul, cette équation ne peut être vérifiée que par $\sin \beta_2 = 0$ ou $\cos \beta_2 = \cos \beta_3$

Première solution $\sin \beta_2 = 0$.

Elle entraîne, d'après l'équation (2), $\sin \beta_3 = 0$

d'où pour β_2 et β_3 les valeurs possibles :

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_2 = 0 \\ \beta_3 = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \beta_2 = 0 \\ \beta_3 = \pi \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \beta_2 = \pi \\ \beta_3 = \pi \end{array} \right.$$

ce qui donne pour les autres équations du problème :

$$\begin{array}{l} \beta_2 = 0 \\ \beta_3 = 0 \end{array} \begin{cases} M_1 + M_2 + M_3 = 0 \\ M_2 a_2 + M_3 a_3 = 0 \end{cases} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \beta_2 = 0 \\ \beta_3 = \pi \end{array} \right. \begin{cases} M_1 + M_2 - M_3 = 0 \\ M_2 a_2 - M_3 a_3 = 0 \\ M_1 + M_2 + M_3 = 0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \beta_2 = \pi \\ \beta_3 = \pi \end{array} \begin{cases} M_1 - M_2 - M_3 = 0 \\ M_2 a_2 + M_3 a_3 = 0 \\ M_1 + M_2 + M_3 = 0 \end{cases}$$

Or ces séries d'équations sont incompatibles entre elles, car M_1, M_2, M_3 sont trois quantités positives non nulles.

La solution $\sin \beta_2 = 0$ doit donc être rejetée.

Deuxième solution. $\cos \beta_2 = \cos \beta_3$.

$$\text{d'où } \beta_2 = \pm \beta_3$$

Or comme M_2 et M_3 sont des quantités positives, on déduit de l'équation (2),

$$\begin{array}{l} \beta_2 = -\beta_3 \\ M_2 = M_3 \end{array} \quad \sin \beta_2 = -\sin \beta_3$$

Les équations (1) et (5) deviennent alors :

$$\begin{cases} M_1 + 2M_2 \cos \beta_2 = 0 \\ M_1 + 2M_2 (\cos^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_2) = 0 \end{cases}$$

d'où on tire :

$$\cos \beta_2 = \cos^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_2$$

$$\text{ou } \sin^2 \beta_2 = \cos \beta_2 (\cos \beta_2 - 1) = 1 - \cos^2 \beta_2 = (1 + \cos \beta_2)(1 - \cos \beta_2)$$

$$\text{et par suite : } (2 \cos \beta_2 + 1)(\cos \beta_2 - 1) = 0$$

On en déduit :

soit $\cos \beta_2 = 1$, solution impossible puisque M_1 et M_2 étant positifs on ne peut avoir $M_1 + 2M_2 = 0$

$$\text{soit : } \cos \beta_2 = -\frac{1}{2} \quad \left| \quad \sin \beta_2 = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} \right.$$

$$\text{et par suite : } \left. \cos \beta_3 = -\frac{1}{2} \quad \left| \quad \sin \beta_3 = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} \right. \right.$$

Mais puisque M_2 et M_3 sont positifs, l'équation (2) montre que $\sin \beta_2$ et $\sin \beta_3$ doivent être de signes contraires. On a donc finalement :

$$\sin \beta_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \sin \beta_3 = -\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\cos \beta_2 = -\frac{1}{2} \quad \cos \beta_3 = -\frac{1}{2}$$

$$\text{et par suite : } \beta_2 = \frac{2\pi}{3} \text{ ou } 120^\circ$$

$$\beta_3 = 2 \times \frac{2\pi}{3} \text{ ou } 240^\circ$$

En portant dans les équations (1) et (2) les valeurs de β_2 et de β_3 , on trouve :

$$M_1 = M_2 = M_3$$

Enfin en substituant ces valeurs dans les équations (3) et (4), on a :

$$\frac{1}{2}(a_2 + a_3) = 0$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2}(a_2 - a_3) = 0$$

d'où $a_2 = 0$ $a_3 = 0$

Ainsi donc pour que les forces d'inertie du 1^{er} ordre et du 2^{me} ordre fussent complètement équilibrées, il faudrait que les 3 manivelles faisant entre elles des angles égaux à 120° , fussent dans un même plan (Fig. 34 et 35).

Or si on peut faire en sorte que les 3 manivelles soient distribués autour de l'axe de rotation de manière à faire entre elles des angles de 120° , il est impossible de les placer dans le même plan, les cylindres devant être déaxés les uns par rapport aux autres.

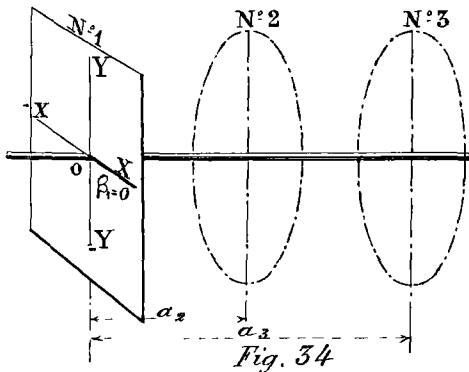


Fig. 34

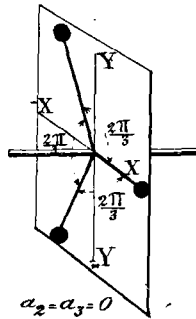


Fig. 35

Supposons que les cylindres étant déaxés, les uns par rapport aux autres, nous nous astreignons aux conditions

$$M_1 = M_2 = M_3$$

$$\beta_1 = 0 \quad \beta_2 = 120^\circ \quad \beta_3 = 240^\circ$$

Les équations (1), (2), (5), (6) sont satisfaites, c'est à dire que les forces d'inertie du 1^{er} ordre et du 2^e ordre se font équilibre. Il n'en est pas de même des couples d'inertie du 1^{er} ordre et du 2^e ordre. En effet, les équations (3) et (4) ne sont pas satisfaites et il en est de même des équations que l'on obtient en faisant $\beta_1 = 0$ et $a_1 = 0$ dans les deux dernières équations (2) à (9) du

paragraphe précédent.

Évaluons quel est le couple résultant du couple centrifuge du 1^{er} ordre. Les axes des couples composants ont pour grandeurs :

$$\omega^2 r M_2 a_2 \quad \text{et} \quad \omega^2 r M_2 a_3$$

et font entre eux un angle égal à $\frac{2\pi}{3}$. D'après la règle du parallélogramme des forces, ce couple résultant a donc pour expression :

$$C_R = \omega^2 r \sqrt{M_2^2 a_2^2 + M_2^2 a_3^2 + 2 M_2^2 a_2 a_3 \cos \frac{2\pi}{3}}$$

ou :

$$C_R = M_2 \omega^2 r \sqrt{a_2^2 + a_3^2 - a_2 a_3}$$

ou, en remarquant que les distances des axes des cylindres sont :

$$a_2 \quad \text{---} \quad a_3 - a_2 = d$$
$$C_R = M_2 \omega^2 r \sqrt{d^2 + a_2^2 + a_2 d}$$

ou, si les distances entre les axes des cylindres sont égales :

$$C_R = M_2 \omega^2 r d \sqrt{3}$$

La projection de ce couple résultant sur l'axe OX ou sur la direction commune des courses des pistons représente à chaque instant le couple résultant des forces d'inertie alternatives du 1^{er} ordre. Cette projection étant égale, à chaque instant, à la somme des projections des composantes, a pour expression en fonction de l'angle β_2 avec OX de la manivelle N° 2,

$$M_2 \omega^2 r \left[a_2 \cos \beta_2 + a_3 \cos \left(\beta_2 + \frac{2\pi}{3} \right) \right] = M_2 \omega^2 r \left[a_2 \cos \beta_2 + a_2 \cos \left(\beta_2 + \frac{2\pi}{3} \right) + d \cos \left(\beta_2 + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

ce qui devient si les cylindres ont entre eux une même distance d , c'est à dire si

$$a_2 = d$$
$$M_2 \omega^2 r d \left[\cos \beta_2 + 2 \cos \left(\beta_2 + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

- Il est facile dès lors, en faisant varier l'angle β_2 de 0° à 2π .

de savoir comment varie cette projection c'est à dire le couple d'inertie résultant du 1^{er} ordre relatif aux masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif. Nous avons fait cette représentation dans la fig. n° 36 qui est relative à un moteur à 3 manivelles placées à 120° l'une de

Inertie des Pistons.
 Cas de trois manivelles à 120°.
 { Poids d'un piston + 2/3 I₀ = 1,510 Kg.
 { Distance des axes des cylindres 102 mm.
 { Diam. des pistons 82 mm.

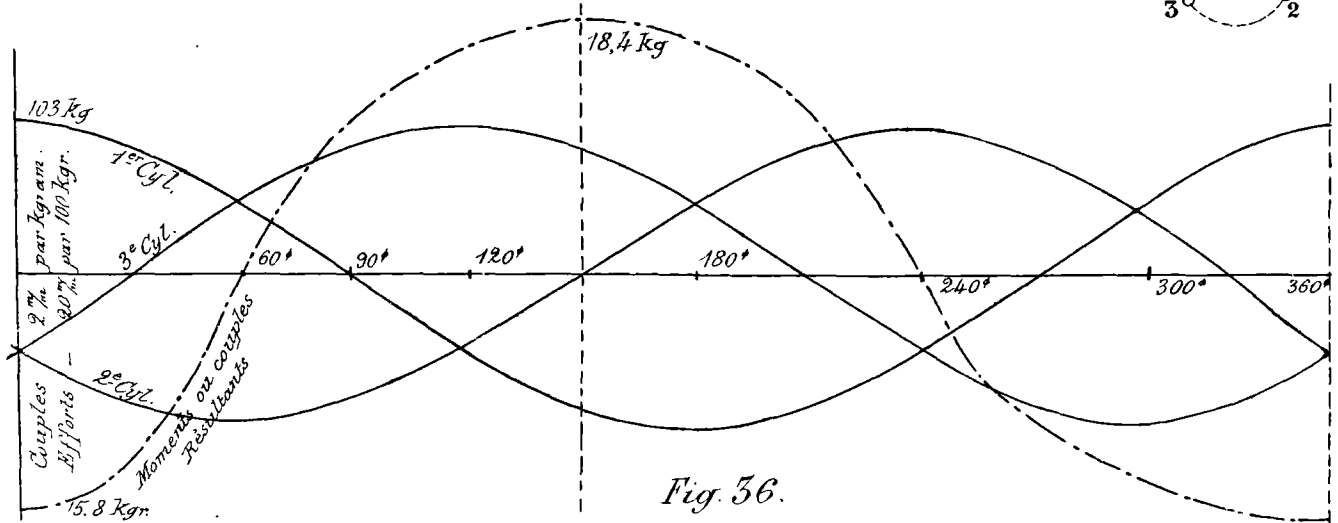
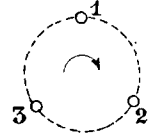


Fig. 56.

haute et qui fait 1000 tours par minute. Ce moteur est de même puissance que le moteur à deux cylindres pour lequel nous avons fait plus haut le même tracé (Fig. 25). Or les valeurs des maxima des couples résultants sont sensiblement les mêmes dans les deux cas : 15,3 Kgr dans le cas d'un moteur à 2 cylindres et 18,4 dans le cas actuel du moteur à 3 cylindres. Donc au point de vue de l'inertie des pistons, le moteur à 3 cylindres dont les manivelles sont à 120° l'une de l'autre, n'est pas plus avantageux que le moteur à 2 cylindres dont les manivelles sont à 180°.

De même en calculant le couple résultant des forces d'inertie du 2^e ordre, on voit qu'il a pour expression :

$$C'_R = M_2 \frac{\omega^2 r^2}{P} \sqrt{d^2 + a_2^2 + a_2 d}$$

ou

$$C'_R = M_2 \frac{\omega^2 r^2}{P} d \sqrt{3}$$

si les axes des cylindres sont équidistants les uns des autres.

Moteur à 3 manivelles dans lequel Dans ce cas, le nombre des variables à déterminer se donne les distances des axes des cylindres. mineur est égal à $2(3-1) = 4$.

Le nombre des équations du problème, qui doivent être satisfaites est alors égal à 4. En tenant compte des remarques que nous avons faites au paragraphe précédent sur l'application des équations (2) à (9), nous voyons que les équations à choisir sont :

soit les groupes d'équations [(2), (3), (4), (5)] du paragraphe précédent ;

soit les groupes d'équations [(2), (3), (5), (6)] ——— id. ——— ;

c'est à dire soit les groupes d'équations :

$$\begin{array}{l} \text{Equations} \\ (2), (3), (5), (6) \text{ du} \\ \text{paragraphe} \\ \text{précédent} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} M_1 \cos \beta_1 + M_2 \cos \beta_2 + M_3 \cos \beta_3 = 0 \\ M_1 \sin \beta_1 + M_2 \sin \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 = 0 \\ M_1 (\cos^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_1) + M_2 (\cos^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_2) + M_3 (\cos^2 \beta_3 - \sin^2 \beta_3) = 0 \\ M_1 \sin \beta_1 \cos \beta_1 + M_2 \sin \beta_2 \cos \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 \cos \beta_3 = 0 \end{array} \right.$$

soit les groupes d'équations :

$$\begin{array}{l} \text{Equations} \\ (2), (3), (4), (5) \\ \text{du paragraphe} \\ \text{précédent} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} M_1 \cos \beta_1 + M_2 \cos \beta_2 + M_3 \cos \beta_3 = 0 \\ M_1 \sin \beta_1 + M_2 \sin \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 = 0 \\ M_1 a_1 \cos \beta_1 + M_2 a_2 \cos \beta_2 + M_3 a_3 \cos \beta_3 = 0 \\ M_1 a_1 \sin \beta_1 + M_2 a_2 \sin \beta_2 + M_3 a_3 \sin \beta_3 = 0 \end{array} \right.$$

Le premier groupe d'équations que nous venons d'écrire vient d'être traité. On y satisfait en disposant les manivelles autour de l'axe à 120° l'une de l'autre et en prenant $M_1 = M_2 = M_3$. Les forces d'inertie du 1^{er} et du 2^e ordre ont seules une résultante nulle ; les couples d'inertie ont pour résultants les couples C_R et C_R' dont nous avons donné plus haut les valeurs.

Passons aux deux autres groupes d'équations. On peut supposer que l'on a fait :

$$\beta_1 = 0 \qquad \alpha_1 = 0$$

de telle sorte que ces équations peuvent s'écrire :

$$(7) \qquad M_1 + M_2 \cos \beta_2 + M_3 \cos \beta_3 = 0$$

$$(8) \qquad M_2 \sin \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 = 0$$

$$(9) \qquad M_2 a_2 \cos \beta_2 + M_3 a_3 \cos \beta_3 = 0$$

$$(10) \qquad M_2 a_2 \sin \beta_2 + M_3 a_3 \sin \beta_3 = 0$$

De l'équation (8), on tire :

$$M_3 \sin \beta_3 = -M_2 \sin \beta_2$$

En portant dans l'équation (10), on obtient :

$$M_2 \sin \beta_2 (a_2 - a_3) = 0$$

Or on se donne les cylindres décalés les uns par rapport aux autres. Par suite la distance de leurs axes n'est pas nulle et il en est de même de $(a_2 - a_3)$. Cette équation donne donc :

$$\begin{aligned} \sin \beta_2 = 0 \quad \text{et par suite} \quad \sin \beta_3 = 0 \\ \text{ou} \quad \cos \beta_2 = \pm 1 \quad \cos \beta_3 = \pm 1 \end{aligned}$$

On a donc :

$$\text{soit} \begin{cases} \beta_2 = 0 \\ \beta_3 = 0 \end{cases} \quad \text{soit} \begin{cases} \beta_2 = \pi \\ \beta_3 = 0 \end{cases} \quad \text{soit} \begin{cases} \beta_2 = \pi \\ \beta_3 = \pi \end{cases}$$

ce qui donne :

$$\begin{array}{l} \beta_2 = 0 \\ \beta_3 = 0 \end{array} \begin{cases} M_1 + M_2 + M_3 = 0 \\ M_2 a_2 + M_3 a_3 = 0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \beta_2 = \pi \\ \beta_3 = 0 \end{array} \begin{cases} M_1 - M_2 + M_3 = 0 \\ -M_2 a_2 + M_3 a_3 = 0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \beta_2 = \pi \\ \beta_3 = \pi \end{array} \begin{cases} M_1 - M_2 - M_3 = 0 \\ M_2 a_2 + M_3 a_3 = 0 \end{cases}$$

Comme M_1, M_2 et M_3 sont des quantités positives, la solution

$[\beta_2 = 0, \beta_3 = 0]$ ne peut être prise en considération.

La solution $[\beta_2 = \pi, \beta_3 = 0]$ donne :

$$(11) \quad \begin{cases} M_2 = M_1 + M_3 \\ M_2 a_2 - M_3 a_3 = 0 \end{cases}$$

a_2 et a_3 étant de même signe, on voit que les cylindres N°2 (correspondant à M_2) et N°3 (correspondant à M_3) sont d'un même côté du plan de référence ou du plan π , coïncidant avec le plan de révolution de la manivelle du cylindre N°1.

De plus, les équations (11) donnent :

$$M_1 a_2 = M_3 (a_3 - a_2)$$

ce qui signifie que les moments des masses M_1 et M_3 par rapport au plan N°2 sont égaux entre eux.

Les cylindres sont disposés comme l'indique la figure 37. Le piston et la bielle du milieu ont un poids qui est égal à la somme des poids

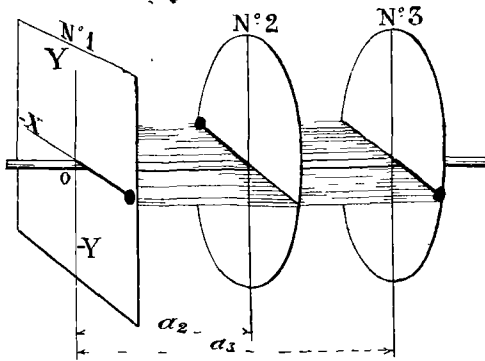


Fig. 37.

des pistons des bielles des cylindres extrêmes.

La solution $[\beta_2 = \pi \quad \beta_3 = \pi]$ se réduit à la précédente. Elle donne en effet :

$$(12) \quad \begin{cases} M_1 = M_2 + M_3 \\ M_1 a_2 + M_3 (a_3 - a_2) = 0 \end{cases}$$

Le cylindre N°1 se trouve entre les cylindres N°2 et N°3; pour ce cylin-

dre, la masse du piston et de la bielle est égale à la somme des masses des pistons et des bielles des cylindres extrêmes.

Si on emploie cette disposition des manivelles, on n'équilibre ni les forces d'inertie du 2^e ordre ni les couples d'inertie du 2^e ordre.

La résultante des forces d'inertie du 2^e ordre est :

$$\frac{\omega^2 r^2}{\rho} [M_1 (\cos^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_1) + M_2 (\cos^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_2) + M_3 (\cos^2 \beta_3 - \sin^2 \beta_3)]$$

$$\text{Si } \beta_1 = 0 \quad \beta_2 = \pi \quad \beta_3 = 0$$

cette résultante prend la valeur

$$\frac{\omega^2 r^2}{\rho} (M_1 + M_2 + M_3) = 2M_2 \frac{\omega^2 r^2}{\rho}$$

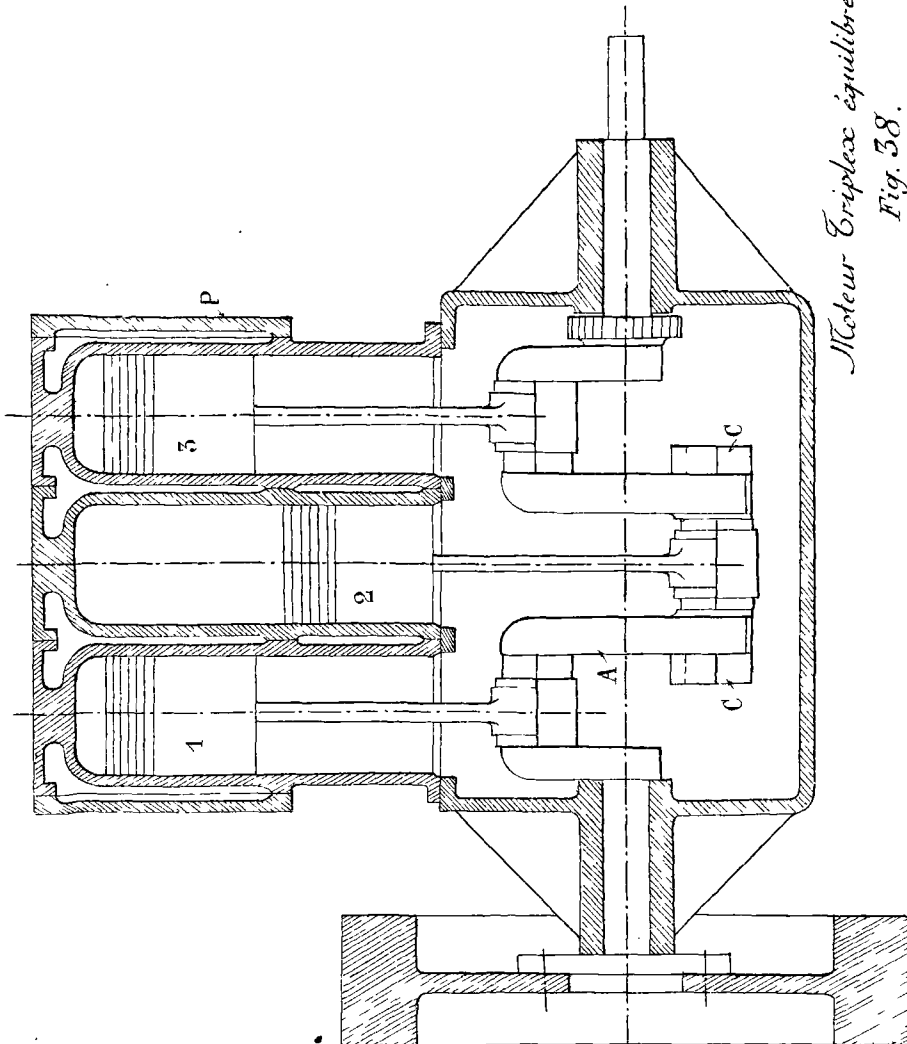
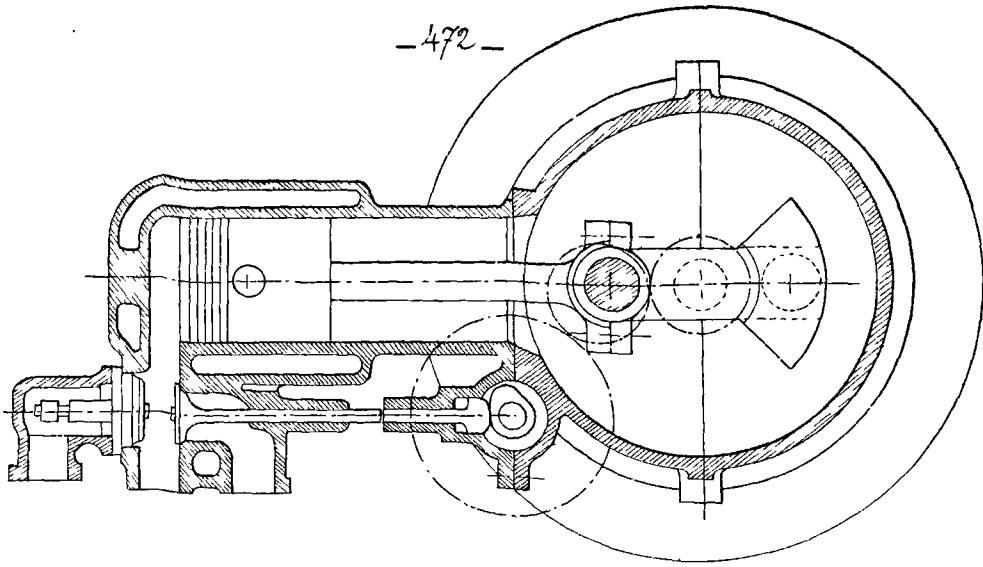
Le couple résultant d'inertie du 2^e ordre a pour valeur, en tenant compte des équations (11),

$$2M_2 a_2 \frac{\omega^2 r^2}{\rho}$$

Cette force résultante et ce couple résultant sont d'autant plus petits que la masse M_2 du piston et de la bielle du cylindre médian est plus faible, que le rapport $(\frac{r}{\rho})$ de la course du piston à la longueur de la bielle est plus petit, enfin que les axes des cylindres sont plus rapprochés les uns des autres.

M. Marcel Caplet, ingénieur-constructeur au Havre, construit un moteur dit Triplex équilibré, qui est représenté dans la figure 38 et dont les manivelles ont autour de l'axe la distribution que nous venons de calculer.

-472-



*Moteur Triplex équilibré.
Fig. 38.*

Remarque.

La solution précédente a été donnée en supposant que les manivelles des 3 cylindres ont même rayon. Si l'en est pas ainsi et si r_1, r_2, r_3 désignent les rayons des manivelles des cylindres N°1, N°2, N°3, il est facile de voir que la solution précédente se transforme en la suivante.

$$\begin{cases} \beta_1 = 0 & \beta_2 = \pi & \beta_3 = 0 \\ M_2 r_2 = M_1 r_1 + M_3 r_3 \\ M_2 r_2 a_2 - M_3 r_3 a_3 = 0 \end{cases}$$

En particulier si les manivelles r_2 et r_3 ont même rayon r_1 et si les cylindres extrêmes, identiques entre eux, sont placés symétriquement par rapport au cylindre médian, cette solution devient :

$$\begin{cases} \beta_1 = 0 & \beta_2 = \pi & \beta_3 = 0 \\ M_2 r_2 = 2 M_1 r_1 \end{cases}$$

Dans ce dernier cas la résultante des forces d'inertie du 2^e ordre a pour expression :

$$M_2 \omega^2 r_2 \left(\frac{r_1}{l_1} + \frac{r_2}{l_2} \right)$$

et le couple résultant d'inertie du 2^{me} ordre est :

$$M_2 \omega^2 r_2 d \left(\frac{r_1}{l_1} + \frac{r_2}{l_2} \right)$$

Le moteur Gobron-Brillie représenté schématiquement dans la figure 39 présente le mode d'équilibrage dont nous venons de parler. Ce calcul montre à quel degré son équilibrage est obtenu.

Le nombre des variables à déterminer est :

$$3(4-1) = 9$$

Toutes les équations (2) à (9) du paragraphe précédent doivent être vérifiées.

Prenez $\beta_1 = 0$ et $a_4 = 0$, les équations du problème deviennent :

IV. Moteurs
à 4 manivelles.

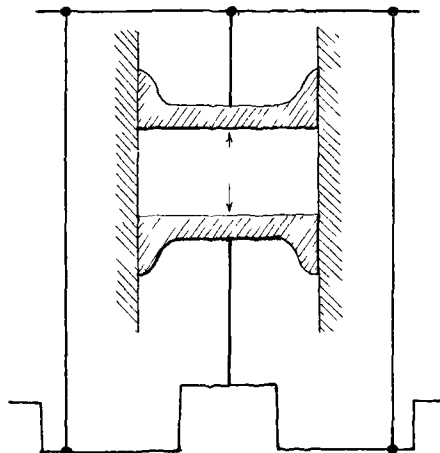


Schéma du moteur Gobron-Brillie
Fig. 39.

$$(13) \quad M_1 + M_2 \cos \beta_2 + M_3 \cos \beta_3 + M_4 \cos \beta_4 = 0$$

$$(14) \quad M_2 \sin \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 + M_4 \sin \beta_4 = 0$$

$$(15) \quad M_1 a_1 + M_2 a_2 \cos \beta_2 + M_3 a_3 \cos \beta_3 = 0$$

$$(16) \quad M_2 a_2 \sin \beta_2 + M_3 a_3 \sin \beta_3 = 0$$

$$(17) \quad M_1 + M_2 (\cos^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_2) + M_3 (\cos^2 \beta_3 - \sin^2 \beta_3) + M_4 (\cos^2 \beta_4 - \sin^2 \beta_4) = 0$$

$$(18) \quad M_2 \sin \beta_2 \cos \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 \cos \beta_3 + M_4 \sin \beta_4 \cos \beta_4 = 0$$

$$(19) \quad M_1 a_1 + M_2 a_2 (\cos^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_2) + M_3 a_3 (\cos^2 \beta_3 - \sin^2 \beta_3) = 0$$

$$(20) \quad M_2 a_2 \sin \beta_2 \cos \beta_2 + M_3 a_3 \sin \beta_3 \cos \beta_3 = 0$$

Les équations (15), (16), (19), (20) en Ma sont de même forme que les équations en M (1), (2), (5), (6). Les solutions en Ma des premières équations en Ma sont celles des secondes équations en M . Par suite on a :

$$(21) \quad M_1 a_1 = M_2 a_2 = M_3 a_3.$$

Les angles faits entre elles par les manivelles N°1, N°2 et N°3 sont égaux à 120° , c'est à dire que :

$$\begin{aligned} \cos \beta_2 &= -\frac{1}{2} & \sin \beta_2 &= \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \cos \beta_3 &= -\frac{1}{2} & \sin \beta_3 &= -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{aligned}$$

Substituons ces valeurs dans les équations (13), (14), (17), (18),

nous trouvons :

$$(22) \quad M_4 \cos \beta_4 = M_1 a_1 \left[-\frac{1}{a_1} + \frac{1}{2a_2} + \frac{1}{2a_3} \right]$$

$$(23) \quad M_4 \sin \beta_4 = M_1 a_1 \left[-\frac{\sqrt{3}}{2a_2} + \frac{\sqrt{3}}{2a_3} \right]$$

$$(24) \quad M_4 (\cos^2 \beta_4 - \sin^2 \beta_4) = M_1 a_1 \left[-\frac{1}{a_1} + \frac{1}{2a_2} + \frac{1}{2a_3} \right]$$

$$(25) \quad -2M_4 \sin \beta_4 \cos \beta_4 = M_1 a_1 \left[-\frac{\sqrt{3}}{2a_2} + \frac{\sqrt{3}}{2a_3} \right]$$

On déduit de ces équations :

$$(26) \quad \cos^2 \beta_4 - \sin^2 \beta_4 = \cos \beta_4$$

$$(27) \quad 2 \sin \beta_4 \cos \beta_4 = -\sin \beta_4$$

La première s'écrit :

$$(28) \quad (2 \cos \beta_4 + 1)(\cos \beta_4 - 1) = 0.$$

ce qui donne :

$$(29) \quad \begin{cases} \cos \beta_4 = 1 & \sin \beta_4 = 0 \\ \cos \beta_4 = -\frac{1}{2} & \sin \beta_4 = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} \end{cases}$$

solutions qui satisfont à l'équation (27).

$$\text{Solution } [\cos \beta_4 = 1 \quad \sin \beta_4 = 0]^{(1)}$$

Elle donne $\beta_4 = 0$

L'équation (23) donne alors: $a_2 = a_3$

et l'équation (22):

$$(30) \quad M_4 = M_1 a_1 \left(\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1} \right) \quad \text{ce qui montre qu'on doit avoir } a_2 < a_1.$$

L'équation (21) donne d'autre part:

$$(31) \quad M_2 = M_3 = \frac{M_1 a_1}{a_2}$$

et l'équation (30) conduit à: $M_4 = M_2 - M_1$

$$(32) \quad M_1 + M_4 = M_2 = M_3$$

En somme les conditions pour qu'un moteur à 4 manivelles soit complètement équilibré au point de vue des forces d'inertie alternatives sont exprimées par les relations suivantes:

$$(33) \quad \begin{cases} \beta_1 = 0 & \beta_2 = \frac{2\pi}{2} \text{ ou } 120^\circ & \beta_3 = \frac{4\pi}{3} \text{ ou } 240^\circ & \beta_4 = 0 \\ a_2 = a_3 & \text{avec } a_2 < a_1 \\ M_2 = M_3 \\ M_1 + M_4 = M_2 = M_3 & \text{ou } M_4 a_2 = M_1 (a_1 - a_2) \end{cases}$$

conditions que l'on peut exprimer de la manière suivante en langage ordinaire.

1^o - Les quatre manivelles doivent être dans trois plans de révolution, deux d'entre elles étant dans le plan médian comme le montre la figure 40.

2^o - Les deux manivelles qui se trouvent dans le plan médian doivent être à 120° l'une de l'autre. Les deux autres parallèles entre elles font un angle de 120° avec chacune des manivelles contenues dans le plan médian.

(1) La solution $[\cos \beta_4 = -\frac{1}{2} \quad \sin \beta_4 = \pm \frac{\sqrt{3}}{2}]$ se confond avec la première.

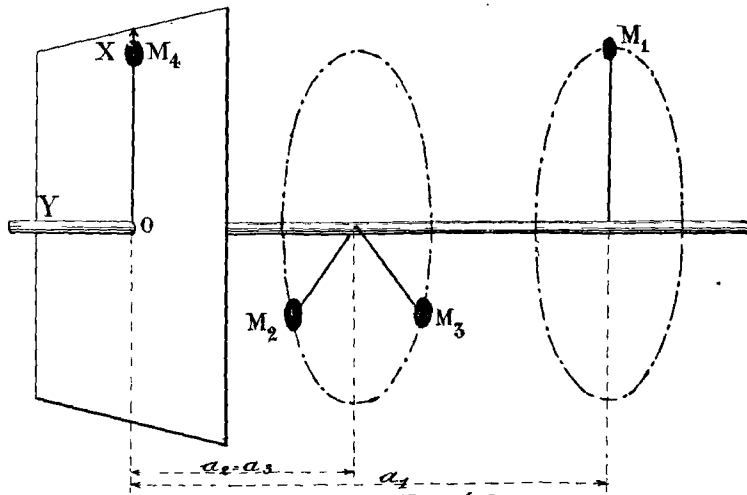


Fig. 40.

3^e - Les poids des pistons et des bielles des manivelles situées dans le plan médian, sont égaux.

4^e - Les poids des pistons et des bielles correspondant aux autres manivelles sont tels que leurs

moments par rapport au plan médian sont égaux et que la somme de leurs poids est égale à la somme des poids du piston et de la bielle de l'une des manivelles situées dans le plan médian.

Comme dans la pratique il est impossible que l'on ait :

$$a_2 = a_3$$

L'équilibrage complet des forces d'inertie alternatives dont nous venons de parler ne peut être réalisé dans les conditions que nous venons de définir.

Nous allons nous rendre compte du degré d'équilibrage adopté pour les moteurs d'automobiles à 4 cylindres.

Moteur
à quatre cylindres, telles sont à 180° comme le montre la figure 41.
Type équilibré.

Le moteur se compose de deux séries de cylindres dont les manivelles sont à 180° comme le montre la figure 41.

Les cylindres étant identiques, on a :

$$M_1 = M_2 = M_3 = M_4.$$

Prendons pour plan de référence équilibrant des plans de symétrie des cylindres 2 et 3 d'une part, et des plans de symétrie des cylindres 1 et 4 d'autre part. Nous pouvons écrire :

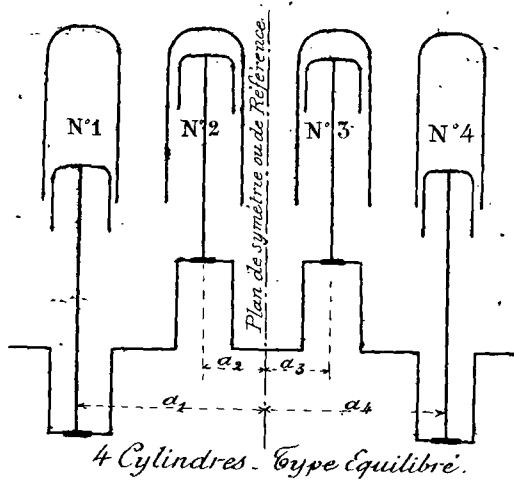
$$a_2 = -a_3 \quad a_1 = -a_4$$

Enfin la disposition adoptée pour les manivelles donne :

$$\beta_1 = 0 \quad \beta_2 = \pi \quad \beta_3 = \pi \quad \beta_4 = 0$$

La résultante des forces d'inertie du 1^{er} ordre est alors :

$$M_1 - M_2 - M_3 + M_4 = 0.$$



4 Cylindres. Type Equilibré.

Fig. 41.

Cette résultante est nulle.
Le couple résultant des forces d'inertie de 1^{er} ordre est alors :

$$M_1 a_1 - M_2 a_2 - M_3 a_3 + M_4 a_4 = M_1 a_1 - M_2 a_2 + M_3 a_2 - M_4 a_1 = 0.$$

Le couple est nul.

Les forces d'inertie du 2^{me} ordre ne sont pas équilibrées.

Elles ont pour résultante :

$$4M_1 \times \frac{\omega^2 r^2}{g}$$

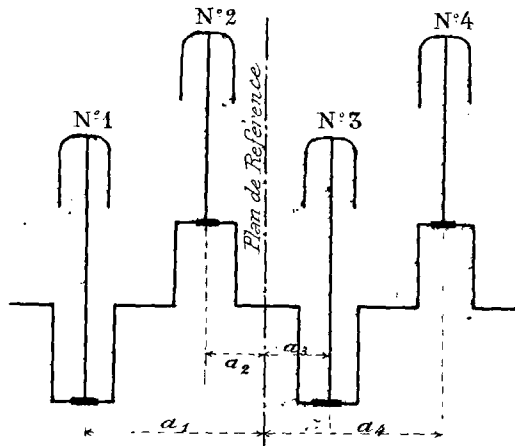
Quant au couple résultant des

forces d'inertie du 2^{me} ordre, il est nul.

Ce type de moteur est donc bien équilibré.

Moteur à 4 cylindres. Type Hautier.

Dans le modèle à quatre cylindres Hautier 1903, l'arbre n'est pas disposé comme dans l'exemple précédent ; il n'est plus symétrique par rapport au plan médian (Fig. 42).



4 Cylindres Type Hautier

Fig. 42.

Dans ce cas, si on prend ce plan médian pour plan de référence, on a :

$$a_2 = -a_3 \quad a_1 = -a_4$$

$$\text{avec } M_1 = M_2 = M_3 = M_4$$

ainsi que : $\beta_1 = 0 ; \beta_2 = \pi ; \beta_3 = 0 ; \beta_4 = \pi$.

La résultante des forces d'inertie du 1^{er} ordre est nulle.

Le couple résultant des forces d'inertie du 1^{er} ordre a sa valeur :

$$2M_1(a_1 - a_2) \omega^2 r$$

La résultante des forces d'inertie du 2^{me} ordre a pour expression:

$$4M_1 \frac{\omega^2 r^2}{l}$$

Enfin le couple résultant des forces d'inertie du 2^e ordre est, nul.

Comme on le voit, cette disposition n'est pas aussi bonne que la précédente.

Elle a été prise sans doute pour que le travail des cylindres se fasse dans leur ordre d'alignement 1-2-3-4; car dans le type équilibré ce travail se succède dans l'ordre 1-2-4-3.

Etude générale de l'équilibrage du premier ordre dans une machine à 4 manivelles.

Nous venons d'indiquer quelques cas dans lesquels on peut réaliser pour une machine à quatre manivelles l'équilibrage du premier ordre. C'est le cas où, toutes ces manivelles étant à chaque instant dans le même plan axial, sont formées de deux groupes, la direction des manivelles dans l'un des groupes étant opposée à la direction dans l'autre groupe. Ce cas n'est pas le seul où l'on puisse produire un tel équilibrage du premier ordre dans une machine à quatre manivelles. Nous allons maintenant rechercher dans quelles conditions générales a lieu un tel équilibrage.

Ecrivons les équations fondamentales (2) à (5) du paragraphe précédent en y supposant $\beta_2 = 0$ avec $\alpha_1 = 0$, nous obtenons les équations:

$$(34) \quad M_1 + M_2 \cos \beta_2 + M_3 \cos \beta_3 + M_4 \cos \beta_4 = 0$$

$$(35) \quad M_2 \sin \beta_2 + M_3 \sin \beta_3 + M_4 \sin \beta_4 = 0$$

$$(36) \quad M_2 a_2 \cos \beta_2 + M_3 a_3 \cos \beta_3 + M_4 a_4 \cos \beta_4 = 0$$

$$(37) \quad M_2 a_2 \sin \beta_2 + M_3 a_3 \sin \beta_3 + M_4 a_4 \sin \beta_4 = 0$$

Si l'on pose :

$$\frac{M_2}{M_1} = m_2 \quad \frac{M_3}{M_1} = m_3 \quad \frac{M_4}{M_1} = m_4$$
$$\frac{a_3}{a_2} = k_3 \quad \frac{a_4}{a_2} = k_4$$

ces équations deviennent :

$$(38) \quad 1 + m_2 \cos \beta_2 + m_3 \cos \beta_3 + m_4 \cos \beta_4 = 0$$

$$(39) \quad m_2 \sin \beta_2 + m_3 \sin \beta_3 + m_4 \sin \beta_4 = 0$$

$$(40) \quad m_2 \cos \beta_2 + m_3 k_3 \cos \beta_3 + m_4 k_4 \cos \beta_4 = 0$$

$$(41) \quad m_2 \sin \beta_2 + m_3 k_3 \sin \beta_3 + m_4 k_4 \sin \beta_4 = 0$$

En retranchant membre à membre les équations (38) et (40) d'une part; (39) et (41) d'autre part, on trouve:

$$(42) \quad 1 + m_3(1-k_3) \cos \beta_3 + m_4(1-k_4) \cos \beta_4 = 0$$

$$(43) \quad m_3(1-k_3) \sin \beta_3 + m_4(1-k_4) \sin \beta_4 = 0$$

Multiplions l'équation (40) par $\sin \beta_2$ et l'équation (41) par $\cos \beta_2$, on obtient:

$$(44) \quad m_3 k_3 \sin(\beta_3 - \beta_2) + m_4 k_4 \sin(\beta_4 - \beta_2) = 0$$

La comparaison des équations (43) et (44) donne:

$$\frac{k_3 \sin(\beta_3 - \beta_2)}{(1-k_3) \sin \beta_3} = \frac{k_4 \sin(\beta_4 - \beta_2)}{(1-k_4) \sin \beta_4}$$

$$\text{ou} \quad \frac{k_3(k_4-1)}{k_4(k_3-1)} = \frac{\sin \beta_3 \sin(\beta_4 - \beta_2)}{\sin \beta_4 \sin(\beta_3 - \beta_2)}$$

ou, en remplaçant k_3 et k_4 par leurs valeurs, on trouve:

$$(45) \quad \frac{a_3(a_4 - a_2)}{a_4(a_3 - a_2)} = \frac{\sin \beta_3 \sin(\beta_4 - \beta_2)}{\sin \beta_4 \sin(\beta_3 - \beta_2)}$$

Cette relation peut s'écrire:

$$(46) \quad \frac{a_3}{\sin \beta_3} \times \frac{a_4 - a_2}{\sin(\beta_4 - \beta_2)} = \frac{a_4}{\sin \beta_4} \times \frac{a_3 - a_2}{\sin(\beta_3 - \beta_2)}$$

La figure 43 est la représentation géométrique de la formule (46).⁽¹⁾

Ce schéma qui est caractéristique de l'équilibrage du 1^{er} ordre dans les machines à 4 manivelles, nous conduit immédiatement à la proposition suivante:

Pour que l'équilibrage du premier ordre soit possible dans une machine à 4 manivelles, il faut que deux manivelles quelconques ne soient dirigées ni suivant une même direction ni suivant deux directions opposées.

En d'autres termes, il ne faut pas que aucun des angles $\beta_2, \beta_3, \beta_4$

(1) Voir figure et renvoi (1) de la page suivante.

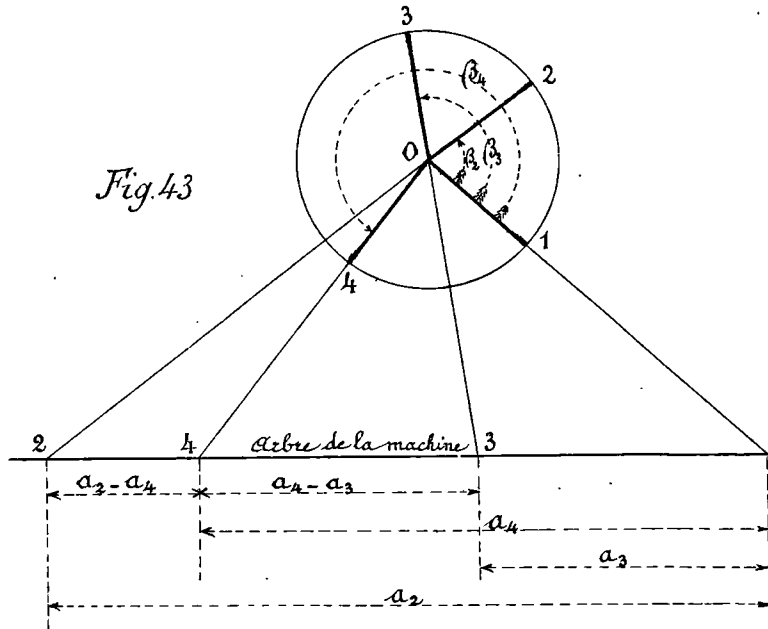
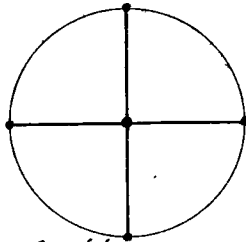


Fig. 43

soit égal à 0 ou à π .⁽²⁾
 En effet, si l'un de ces angles, β_3 par exemple, est égal à zéro, la direction O3 de la manivelle 3 coïncide avec la direction O1 de la manivelle 1 et la figure montre que dans ce cas $a_3 = 0$. Les deux plans de rotation des manivelles

1 et 3 coïncident, ce qui est impossible à réaliser dans la pratique.

À ce point de vue, lorsque les quatre manivelles ont la disposition marquée dans la figure 44, l'équilibrage du premier ordre n'est pas possible.⁽³⁾



Au contraire la solution, représentée, par la figure 45 est possible pourvu que les deux angles droits ne soient pas des angles adjacents.

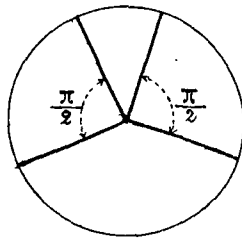
Remarque. Équilibrage du 1^{er} ordre impossible Fig. 44.

Si on transforme les équations (5) à (9) du paragraphe

(1) Dans le triangle O13 on a : $\frac{a_3}{\sin \beta_3} = \frac{O3}{\sin \widehat{O13}}$. Le triangle O14 donne : $-\frac{a_4}{\sin \beta_4} = \frac{O4}{\sin \widehat{O13}}$
 Le triangle O24 fournit : $-\frac{a_2 - a_4}{\sin(\beta_4 - \beta_2)} = \frac{O4}{\sin \widehat{O24}}$. Enfin le triangle O23 donne $\frac{a_2 - a_3}{\sin(\beta_3 - \beta_2)} = \frac{O3}{\sin \widehat{O24}}$
 Or $\frac{O3}{\sin \widehat{O13}} \cdot \frac{O4}{\sin \widehat{O24}} = \frac{O3}{\sin \widehat{O24}} \cdot \frac{O4}{\sin \widehat{O13}}$, c'est à dire $\frac{a_3}{\sin \beta_3} \cdot \frac{a_4 - a_2}{\sin(\beta_4 - \beta_2)} = \frac{a_4}{\sin \beta_4} \cdot \frac{a_3 - a_2}{\sin(\beta_3 - \beta_2)}$

(2) Toutefois si tous les angles $(\beta_2, \beta_3, \beta_4)$ sont à la fois égaux à 0 ou π , l'équilibrage du 1^{er} ordre est possible comme nous l'avons vu plus haut.

(3) On le voit facilement en se reportant aux équations générales (34) à (37).



Equilibrage du 1^{er} ordre possible
Fig. 45

précédent qui donnent l'équilibrage du 2^e ordre, comme nous venons de le faire pour les équations de l'équilibrage du 1^{er} ordre, on trouve :

$$(47) \quad \frac{a_3(a_4 - a_2)}{a_4(a_3 - a_2)} = \frac{\sin 2\beta_3 \cdot \sin 2(\beta_4 - \beta_2)}{\sin 2\beta_4 \cdot \sin 2(\beta_3 - \beta_2)}$$

Si on veut qu'une machine à 4 manivelles ait à la fois un équilibrage du 1^{er} ordre et un équilibrage du 2^{me} ordre, il faut que les équations (46) et (47) soient compatibles entre elles, c'est à dire que l'on ait :

$$\frac{\sin 2\beta_3 \cdot \sin 2(\beta_4 - \beta_2)}{\sin 2\beta_4 \cdot \sin 2(\beta_3 - \beta_2)} = \frac{\sin \beta_3 \cdot \sin(\beta_4 - \beta_2)}{\sin \beta_4 \cdot \sin(\beta_3 - \beta_2)}$$

ou en développant et en remarquant qu'aucun des angles β ne peut être égal à 0 ou à π , on trouve :

$$\text{tang. } \beta_4 = \text{tang. } \beta_3$$

solution inacceptable pour la pratique puisqu'elle conduit à la coïncidence des plans de révolution de deux manivelles. Nous retrouvons donc ce résultat que l'équilibrage complet d'une machine à 4 manivelles est en général impossible.

Solution générale du problème de l'équilibrage d'une machine à quatre manivelles.

Supposons que l'on se donne la position du plan de rotation de la première manivelle (on le prend pour plan de référence en posant $\alpha_1 = 0$) et deux des angles que font entre elles les quatre manivelles.⁽¹⁾

Le nombre des variables à déterminer est alors $9 - 3 = 6$.

Ces variables sont alors données par les équations :

$$(48) \quad 1 + m_2 \cos \beta_2 + m_3 \cos \beta_3 + m_4 \cos \beta_4 = 0$$

$$(49) \quad m_2 \sin \beta_2 + m_3 \sin \beta_3 + m_4 \sin \beta_4 = 0$$

$$(50) \quad m_2 k_2 \cos \beta_2 + m_3 k_3 \cos \beta_3 + m_4 k_4 \cos \beta_4 = 0$$

⁽¹⁾ H. Lorenz. — Dynamik der Kurbelgetriebe. p. 36.

$$(51) \quad m_2 \sin \beta_2 + m_3 k_3 \sin \beta_3 + m_4 k_4 \sin \beta_4 = 0$$

$$(52) \quad 1 + m_2 \cos 2\beta_2 + m_3 \cos 2\beta_3 + m_4 \cos 2\beta_4 = 0$$

$$(53) \quad m_2 \sin 2\beta_2 + m_3 \sin 2\beta_3 + m_4 \sin 2\beta_4 = 0$$

En éliminant successivement m_2, m_3 et m_4 entre les équations (48)

(49), (52), (53), on trouve

$$(54) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sin \beta_2 + m_3 \sin(\beta_2 - \beta_3) + m_4 \sin(\beta_2 - \beta_4) = 0 \\ \sin 2\beta_2 + m_3 \sin 2(\beta_2 - \beta_3) + m_4 \sin 2(\beta_2 - \beta_4) = 0 \end{array} \right. \begin{array}{l} \sin 2(\beta_3 - \beta_4) \\ \sin(\beta_3 - \beta_4) \end{array}$$

$$(55) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sin \beta_3 + m_4 \sin(\beta_3 - \beta_4) + m_2 \sin(\beta_3 - \beta_2) = 0 \\ \sin 2\beta_3 + m_4 \sin 2(\beta_3 - \beta_4) + m_2 \sin 2(\beta_3 - \beta_2) = 0 \end{array} \right. \begin{array}{l} \sin 2(\beta_4 - \beta_2) \\ \sin(\beta_4 - \beta_2) \end{array}$$

$$(56) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sin \beta_4 + m_2 \sin(\beta_4 - \beta_2) + m_3 \sin(\beta_4 - \beta_3) = 0 \\ \sin 2\beta_4 + m_2 \sin 2(\beta_4 - \beta_2) + m_3 \sin 2(\beta_4 - \beta_3) = 0 \end{array} \right. \begin{array}{l} \sin 2(\beta_2 - \beta_3) \\ \sin(\beta_2 - \beta_3) \end{array}$$

Soit en ajoutant membre à membre, après avoir multiplié par les facteurs indiqués à droite, on trouve :

$$\begin{aligned} & \sin \beta_2 \sin 2(\beta_3 - \beta_4) + \sin 2\beta_2 \sin(\beta_3 - \beta_4) + \sin \beta_3 \sin 2(\beta_4 - \beta_2) \\ & + \sin 2\beta_3 \sin(\beta_4 - \beta_2) + \sin \beta_4 \sin 2(\beta_2 - \beta_3) + \sin 2\beta_4 \sin(\beta_2 - \beta_3) = 0 \end{aligned}$$

ou bien :

$$\begin{aligned} & \sin \beta_2 \sin(\beta_3 - \beta_4) \cos(\beta_3 - \beta_4) + \sin \beta_2 \cos \beta_2 \sin(\beta_3 - \beta_4) \\ & + \sin \beta_3 \sin(\beta_4 - \beta_2) \cos(\beta_4 - \beta_2) + \sin \beta_3 \cos \beta_3 \sin(\beta_4 - \beta_2) \\ & + \sin \beta_4 \sin(\beta_2 - \beta_3) \cos(\beta_2 - \beta_3) + \sin \beta_4 \cos \beta_4 \sin(\beta_2 - \beta_3) = 0 \end{aligned}$$

ou enfin :

$$(57) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sin \beta_2 \sin(\beta_3 - \beta_4) [\cos(\beta_3 - \beta_4) + \cos \beta_2] \\ + \sin \beta_3 \sin(\beta_4 - \beta_2) [\cos(\beta_4 - \beta_2) + \cos \beta_3] \\ + \sin \beta_4 \sin(\beta_2 - \beta_3) [\cos(\beta_2 - \beta_3) + \cos \beta_4] \end{array} \right. = 0$$

Mais

$$\begin{aligned} \sin \beta_2 \sin(\beta_3 - \beta_4) &= \frac{1}{2} \cos \left[\frac{\beta_2 - \beta_3 + \beta_4}{2} \right] - \frac{1}{2} \cos \left[\frac{\beta_2 + \beta_3 - \beta_4}{2} \right] \\ \sin \beta_3 \sin(\beta_4 - \beta_2) &= \frac{1}{2} \cos \left[\frac{\beta_3 - \beta_4 + \beta_2}{2} \right] - \frac{1}{2} \cos \left[\frac{\beta_3 + \beta_4 - \beta_2}{2} \right] \\ \sin \beta_4 \sin(\beta_2 - \beta_3) &= \frac{1}{2} \cos \left[\frac{\beta_4 - \beta_2 + \beta_3}{2} \right] - \frac{1}{2} \cos \left[\frac{\beta_4 + \beta_2 - \beta_3}{2} \right] \end{aligned}$$

ou bien :

$$\begin{aligned} \sin \beta_2 \sin(\beta_3 - \beta_4) &= \cos^2 \frac{\beta_2 - \beta_3 + \beta_4}{2} - \cos^2 \frac{\beta_2 + \beta_3 - \beta_4}{2} = \xi^2 - \eta^2 \\ \sin \beta_3 \sin(\beta_4 - \beta_2) &= \cos^2 \frac{\beta_3 - \beta_4 + \beta_2}{2} - \cos^2 \frac{\beta_3 + \beta_4 - \beta_2}{2} = \eta^2 - \zeta^2 \\ \sin \beta_4 \sin(\beta_2 - \beta_3) &= \cos^2 \frac{\beta_4 - \beta_2 + \beta_3}{2} - \cos^2 \frac{\beta_4 + \beta_2 - \beta_3}{2} = \zeta^2 - \xi^2 \end{aligned}$$

$$\cos(\beta_3 - \beta_4) + \cos\beta_2 = 2 \cos \frac{\beta_3 - \beta_4 + \beta_2}{2} \cos \frac{\beta_3 - \beta_4 - \beta_2}{2} = 2 \eta \xi$$

$$\cos(\beta_4 - \beta_2) + \cos\beta_3 = 2 \cos \frac{\beta_4 - \beta_2 + \beta_3}{2} \cos \frac{\beta_4 - \beta_2 - \beta_3}{2} = 2 \xi \eta$$

$$\cos(\beta_2 - \beta_3) + \cos\beta_4 = 2 \cos \frac{\beta_2 - \beta_3 + \beta_4}{2} \cos \frac{\beta_2 - \beta_3 - \beta_4}{2} = 2 \xi \xi$$

En faisant ces transformations, l'équation (57) devient :

$$(\xi^2 - \eta^2) \xi \eta + (\eta^2 - \xi^2) \eta \xi + (\xi^2 - \xi^2) \xi \xi = 0$$

ou

$$(58) \quad (\xi - \eta)(\eta - \xi)(\xi - \xi)(\xi + \eta + \xi) = 0$$

or

$$\xi - \eta = 2 \sin \frac{\beta_2}{2} \sin \frac{\beta_3 - \beta_4}{2}$$

$$\eta - \xi = 2 \sin \frac{\beta_3}{2} \sin \frac{\beta_4 - \beta_2}{2}$$

$$\xi - \xi = 2 \sin \frac{\beta_4}{2} \sin \frac{\beta_2 - \beta_3}{2}$$

Deux des angles $\beta_2, \beta_3, \beta_4$ ne pouvant être égaux entre eux, ces différences ne sont pas nulles. L'équation (58) entraîne donc :

$$(59) \quad \xi + \eta + \xi = 0$$

Mais introduisons les angles des manivelles qui se suivent immédiatement dans le sens 1, 2, 3, 4, c'est à dire par exemple :

$$\beta_2 = \alpha \quad \beta_3 - \beta_2 = \beta \quad \beta_4 - \beta_3 = \gamma \quad \beta_4 = 2\pi - \delta$$

nous avons :

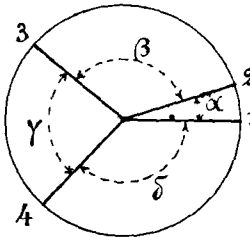


Fig. 46.

$$(60) \quad \begin{cases} \xi = \cos \frac{\alpha + \gamma}{2} \\ \eta = \cos \frac{\alpha - \gamma}{2} \\ \xi = \cos \frac{\beta - \delta}{2} \end{cases}$$

L'équation (59) devient alors :

$$(61) \quad \cos \frac{\alpha + \gamma}{2} + \cos \frac{\alpha - \gamma}{2} = \cos \frac{\beta - \delta}{2}$$

ou

$$(62) \quad 2 \cos \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\gamma}{2} = \cos \frac{\beta - \delta}{2}$$

On peut aussi écrire :

$$(62^{bis}) \quad 2 \cos \frac{\beta}{2} \cos \frac{\delta}{2} = \cos \frac{\gamma - \alpha}{2}$$

Supposons que l'on se donne les angles β et δ , opposés, des manivelles. On a :

$$(63) \quad \alpha + \gamma = 2\pi - (\beta + \delta)$$

$$\cos \frac{1}{2}(\alpha + \gamma) = \cos \left[\pi - \frac{\beta + \delta}{2} \right] = -\cos \frac{\beta + \delta}{2}$$

et l'équation (61) donne :

$$(64) \quad \cos \frac{\alpha - \gamma}{2} = \cos \frac{\beta - \delta}{2} + \cos \frac{\beta + \delta}{2} = 2 \cos \frac{\beta}{2} \cos \frac{\delta}{2}$$

On a ainsi l'angle $\frac{\alpha - \gamma}{2}$ et comme on a $\alpha + \gamma$, on connaît α et γ , c'est à dire les angles $\beta_2, \beta_3, \beta_4$ des manivelles avec l'une d'elles.

Si l'on se donne les angles adjacents, α et β par exemple, on a :

$$(65) \quad \delta = 2\pi - [\alpha + \beta + \gamma]$$

$$\cos \frac{\beta - \delta}{2} = -\cos \left[\beta + \frac{\alpha + \gamma}{2} \right] = -\cos \left(\beta + \frac{\alpha}{2} \right) \cos \frac{\gamma}{2} + \sin \left(\beta + \frac{\alpha}{2} \right) \sin \frac{\gamma}{2}$$

L'équation (62) donne donc :

$$2 \cos \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\gamma}{2} = -\cos \left(\beta + \frac{\alpha}{2} \right) \cos \frac{\gamma}{2} + \sin \left(\beta + \frac{\alpha}{2} \right) \sin \frac{\gamma}{2}$$

$$2 \cos \frac{\alpha}{2} = -\cos \left(\beta + \frac{\alpha}{2} \right) + \sin \left(\beta + \frac{\alpha}{2} \right) \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}$$

$$(65^{bis}) \quad \operatorname{tang} \frac{\gamma}{2} = \frac{2 \cos \frac{\alpha}{2} + \cos \left(\beta + \frac{\alpha}{2} \right)}{\sin \left(\beta + \frac{\alpha}{2} \right)}$$

Cette équation donne γ et l'équation (65) donne la valeur de δ .

Il nous faut maintenant calculer les variables

$$m_2, m_3, m_4, k_3, k_4.$$

Les équations (48) et (49) donnent :

$$(1 + m_2 \cos \beta_2)^2 = (m_3 \cos \beta_3 + m_4 \cos \beta_4)^2$$

$$m_2^2 \sin^2 \beta_2 = (m_3 \sin \beta_3 + m_4 \sin \beta_4)^2$$

d'où en développant et en ajoutant membre à membre :

$$1 + 2m_2 \cos \beta_2 + m_2^2 = m_3^2 + m_4^2 + 2m_3 m_4 \cos(\beta_3 - \beta_4)$$

En traitant de même les équations (52) et (53), on trouve :

$$1 + 2m_2 \cos 2\beta_2 + m_2^2 = m_3^2 + m_4^2 + 2m_3 m_4 \cos 2(\beta_3 - \beta_4)$$

Retranchons ces équations membre à membre, il vient :

$$m_2 (\cos \beta_2 - \cos 2\beta_2) = m_3 m_4 [\cos(\beta_3 - \beta_4) - \cos 2(\beta_3 - \beta_4)]$$

ou

$$(66) \quad m_2 \sin \frac{\beta_2}{2} \sin \frac{3}{2}\beta_2 = m_3 m_4 \sin \frac{\beta_3 - \beta_4}{2} \sin \frac{3}{2}(\beta_3 - \beta_4)$$

On trouverait de même :

$$(66^{bis}) \quad m_3 \sin \frac{\beta_3}{2} \sin \frac{3}{2}\beta_3 = m_4 m_2 \sin \frac{\beta_4 - \beta_2}{2} \sin \frac{3}{2}(\beta_4 - \beta_2)$$

$$(66^{ter}) \quad m_4 \sin \frac{\beta_4}{2} \sin \frac{3}{2}\beta_4 = m_2 m_3 \sin \frac{\beta_2 - \beta_3}{2} \sin \frac{3}{2}(\beta_2 - \beta_3)$$

En multipliant membre à membre les équations (66^{4a}) et (66^{4b}), on trouve :

$$(67) \quad \begin{cases} m_2^2 = \frac{\sin \frac{\beta_3}{2} \sin \frac{3}{2} \beta_3 \sin \frac{\beta_4}{2} \sin \frac{3}{2} \beta_4}{\sin \frac{\beta_4 - \beta_2}{2} \sin \frac{3}{2} (\beta_4 - \beta_2) \sin \frac{\beta_3 - \beta_2}{2} \sin \frac{3}{2} (\beta_3 - \beta_2)} \\ m_3^2 = \frac{\sin \frac{\beta_4}{2} \sin \frac{3}{2} \beta_4 \sin \frac{\beta_2}{2} \sin \frac{3}{2} \beta_2}{\sin \frac{\beta_2 - \beta_3}{2} \sin \frac{3}{2} (\beta_2 - \beta_3) \sin \frac{\beta_3 - \beta_4}{2} \sin \frac{3}{2} (\beta_3 - \beta_4)} \\ m_4^2 = \frac{\sin \frac{\beta_2}{2} \sin \frac{3}{2} \beta_2 \sin \frac{\beta_3}{2} \sin \frac{3}{2} \beta_3}{\sin \frac{\beta_3 - \beta_4}{2} \sin \frac{3}{2} (\beta_3 - \beta_4) \sin \frac{\beta_4 - \beta_2}{2} \sin \frac{3}{2} (\beta_4 - \beta_2)} \end{cases}$$

Enfin les équations (50) et (51) résolues par rapport à k_3 et k_4 donnent :

$$(68) \quad \begin{cases} k_3 = \frac{a_3}{a_2} = -\frac{m_2}{m_3} \cdot \frac{\sin(\beta_4 - \beta_2)}{\sin(\beta_4 - \beta_3)} \\ k_4 = \frac{a_4}{a_2} = \frac{m_2}{m_4} \cdot \frac{\sin(\beta_3 - \beta_2)}{\sin(\beta_4 - \beta_3)} \end{cases}$$

Comme on le voit, les formules (61), (62), (67), (68) résolvent le problème de l'équilibrage des machines à quatre manivelles.

Solution symétrique de Schlick.

O. Schlick a proposé de disposer les quatre manivelles symétriquement par rapport à un diamètre comme le montre la fig. 47. Puisque

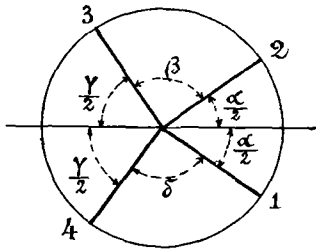


Fig. 47

$\beta = \delta$, les formules (67) donnent :

$$\beta_4 = 2\pi - (\beta_3 - \beta_2)$$

$$\begin{aligned} m_2 &= 1 \\ m_3 &= m_4 = m. \end{aligned}$$

D'où en portant ces valeurs dans l'une des équations précédentes élevées au carré, on trouve, puisque

$$\beta_2 = \alpha \text{ et } \beta_4 - \beta_3 = \gamma,$$

$$2 + 2 \cos \alpha = 2m^2 + 2m^2 \cos \gamma$$

$$(69) \quad \text{ou} \quad \cos \frac{\alpha}{2} = m \cos \frac{\gamma}{2}$$

ou en tenant compte de la relation (62)

$$(70) \quad 1 = 2m \cos^2 \frac{\gamma}{2}$$

Enfin on trouve :

$$(71) \quad a_2 = a_3 + a_4$$

§^e 6. — Vibrations des bâtis des machines et des châssis d'automobiles.

Les forces d'inertie que nous venons d'étudier au point de vue de l'équilibre ne sont pas seulement nuisibles au point de vue des déformations qu'elles peuvent produire dans les organes des machines en mouvement. Le caractère périodique de leurs variations rend encore ces forces dangereuses pour les supports de ces machines par suite des vibrations de grande amplitude qu'elles sont capables de leur communiquer. Nous nous proposons dans ce paragraphe d'étudier les lois qui régissent de telles vibrations.

Tout le monde sait qu'un homme et même un enfant peuvent, en tirant en mesure sur la corde, mettre en mouvement les plus grosses cloches d'église, dont le poids est si considérable que l'homme le plus fort, voulant les changer de place, ne pourrait les branler d'une manière appréciable, à moins d'espaçer ses efforts à intervalles rythmés. La cloche oscille, comme un pendule, assez longtemps encore avant de revenir graduellement au repos, bien qu'elle soit abandonnée à elle-même et ne soit soumise à l'action d'aucune force susceptible d'entretenir le mouvement. Le mouvement diminue cependant peu à peu, parce qu'à chaque oscillation, le frottement sur les axes et la résistance de l'air anéantissent une portion de l'impulsion primitive. Lorsque l'amplitude des oscillations ne dépasse pas une certaine limite, on sait que le temps mis par la cloche pour revenir à une même position est indépendant de cette amplitude; on lui donne le nom de Période des oscillations propres de la cloche.

Quand la cloche oscille de part et d'autre de sa position d'équilibre, le levier fixé à la partie supérieure de l'axe s'élève et s'abaisse avec la corde. Si, au moment où il descend, un enfant se suspend à l'extrémité inférieure de la corde, le poids de son corps agit

sur la cloche, de manière à en accélérer le mouvement. Cette accélération pourra être très-petite, mais elle suffit pour produire, dans l'amplitude de ses oscillations de la cloche, un accroissement correspondant qui se conserve encore quelque temps, jusqu'au moment où il est anéanti par le frottement et par la résistance de l'air. L'enfant, au contraire, se suspend-il à la corde à contre-temps, au moment où la cloche monte, le poids du corps agit en sens inverse et diminue l'amplitude. Maintenant supposons qu'à chaque oscillation l'enfant se suspende à la corde, pendant qu'elle descend et qu'il la laisse remonter librement; il ne fera ainsi qu'accélérer chaque fois le mouvement de la cloche; les oscillations deviendront peu à peu de plus en plus grandes jusqu'à ce que le mouvement imprimé par la cloche aux murs du clocher et à l'air extérieur, fasse équilibre à la force déployée par l'enfant à chaque oscillation.

Le résultat de cette expérience repose essentiellement sur ce que l'enfant n'exerce son effort qu'au moment où il peut accélérer le mouvement de la cloche. Cet effort doit donc revenir périodiquement, par intervalles égaux à la période des oscillations propres de la cloche. Il importe peu que cet effort soit considérable; un léger effort convenablement rythmé conduit au même résultat. D'ailleurs, par un petit effort analogue se produisant à des intervalles de temps convenablement espacés, l'enfant aurait pu aussi bien et aussi vile, réduite au repos le mouvement de la cloche, en tirant sur la corde, au moment où elle monte, et en ajoutant par conséquent, à la masse soulevée, le poids de son corps. ainsi, nous le voyons, le caractère périodique du petit effort exercé par l'enfant, et ce caractère seul, est la cause soit du mouvement de grande amplitude imprimé à la cloche soit de l'arrêt de celle-ci quand elle sonne à toute volée.

On peut à chaque instant réaliser l'expérience suivante qui est

tout à fait analogue. Supposons un pendule, formé en suspendant, à l'extrémité inférieure d'un cordon, un corps pesant, un anneau par exemple. Prenons l'extrémité supérieure du cordon dans la main et imprimons à l'anneau un faible mouvement d'oscillation; nous pouvons arriver peu à peu à obtenir des oscillations très appréciables en déplaçant très peu la main en sens inverse de l'anneau chaque fois que le pendule prend la position la plus écartée de la verticale. Ainsi, au moment où le pendule est le plus à droite, il faut porter la main un peu à gauche et vice versa. On peut aussi faire sortir le pendule de l'état de repos, en déplaçant un peu la main, en mesure, à des intervalles égaux à la période des oscillations propres du pendule.⁽¹⁾ Si on exécute les mouvements de la main à contre-temps, le pendule revient bientôt au repos.

Mais un point important sur lequel nous devons insister est que nous n'avons pas besoin ici d'exécuter les mouvements de la main, dans le même rythme que les oscillations du pendule. Nous pouvons exécuter un seul mouvement de va-et-vient pour trois, cinq oscillations ou plus, et cependant, déterminer un accroissement sensible dans le mouvement du corps. Par exemple, le pendule étant à droite, portons la main à gauche

(1) Les déplacements de la main peuvent être assez petits pour être presque imperceptibles même à une attention soutenue; c'est sur cette circonstance que repose l'emploi superstitieuse de ce petit appareil comme baguette divinatoire. Si même l'observateur, sans songer à sa main, suit de l'œil les oscillations de l'anneau, la main accompagne l'œil et se déplace involontairement de part et d'autre de sa position initiale, dans le même temps que le pendule, dès que celui-ci commence à osciller un peu. Les mouvements involontaires de la main passent généralement inaperçus, à moins que l'expérimentateur n'ait l'habitude d'observer précisément ces influences insensibles. Ils peuvent augmenter et entretenir le mouvement et transformer tout déplacement fortuit du pendule en une série d'oscillations, qui paraissent se produire d'elles-mêmes, sans l'intervention de l'observateur; aussi ont-elles été attribuées à la présence de métaux et de sources cachées.

et arrêtons-nous jusqu'à ce qu'il ait été lui-même, à gauche, puis à droite, puis encore à gauche; remettons la main dans sa position première, attende que le pendule soit revenu à droite et ainsi de suite. Il y a donc trois oscillations du pendule pour un seul mouvement de va et vient de la main. Nous pouvons aussi, pour un seul mouvement de va et vient de la main, laisser faire au pendule cinq, sept oscillations ou plus. Enfin nous pouvons modifier un peu l'expérience en faisant un seul mouvement de la main pour deux, quatre, six oscillations et plus.

On voit donc, qu'il nous est possible de déterminer de rapides mouvements du pendule par de très petits déplacements périodiques de la main, d'une période égale à une, deux, trois.... fois la durée des oscillations propres du pendule. On donne à ces vibrations propres dont la durée est égale à deux, trois.... fois la durée de l'oscillation la plus lente, le nom d'harmoniques de celle-ci qui reçoit plus particulièrement la dénomination d'oscillation fondamentale.

Une question se pose maintenant. Etant donné un mouvement périodique déterminé de la main, est-il possible de savoir s'il peut en résulter de fortes oscillations pour le pendule?

Théorème
de Fourier.

Cette réponse nous est donnée par un théorème remarquable dû à Fourier.

Prenez une petite masse matérielle animée d'un mouvement très petit suivant une droite. A l'instant t , elle n'occupe pas sa position d'équilibre. Si nous désignons par x_0 la distance de sa position d'équilibre à un point fixe O , elle occupera à l'instant t une position dont la distance au point fixe O est

$$x = x_0 + u = x_0 + \varphi(t)$$

Si la fonction $\varphi(t)$ est de la forme:

$$\varphi(t) = a \sin 2\pi \left[\frac{t}{T} - \alpha \right]$$

on dit que la masse considérée est animée, suivant la droite considérée, d'un mouvement vibratoire pendulaire de période T . La constante a reçoit

le nom d'amplitude de la vibration et la constante α le nom de différence de phase.

En fait, en l'appliquant à notre sujet, formuler de la manière suivante la loi mathématique de Fourier.

Toute vibration régulière et périodique peut être considérée comme la somme des vibrations pendulaires dont les durées sont une, deux, trois, quatre, etc... fois moins grandes que celle du mouvement donné.

$$x = x_0 + \Phi(t)$$

représente une vibration régulière et périodique de période T s'effectuant suivant une droite, on peut écrire :

$$x = x_0 + A_1 \sin 2\pi \left[\frac{t}{T} - \alpha_1 \right] + A_2 \sin 2\pi \left[\frac{t}{\frac{T}{2}} - \alpha_2 \right] \\ + A_3 \sin 2\pi \left[\frac{t}{\frac{T}{3}} - \alpha_3 \right] + A_4 \sin 2\pi \left[\frac{t}{\frac{T}{4}} - \alpha_4 \right] \\ + \dots \dots \dots$$

Les amplitudes $[A_1, A_2, A_3, A_4, \dots]$ des vibrations simples composantes et les différences de phase $[\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \dots]$ peuvent être déterminées dans chaque cas, ainsi que l'a montré Fourier, par des méthodes de calcul particulières qui ne comportent pas une exposition élémentaire. Il en résulte que :

Un mouvement donné, régulier et périodique, ne peut être décomposé que d'une seule manière en un certain nombre de vibrations pendulaires.

Revenons maintenant à la question que nous avons posée plus haut. Si nous donnons à la main qui retient le pendule un mouvement régulier et périodique, pouvons-nous imprimer à ce pendule de fortes oscillations ?

Décomposons le mouvement périodique de la main en une somme d'oscillations simples pendulaires en suivant la méthode indiquée par Fourier.

Proposition fondamentale de mécanique. La mécanique nous fournit le théorème suivant dont nous avons

ou plus haut une vérification expérimentale.

Si la période d'une des oscillations pendulaires simples dans lesquelles on a décomposé le mouvement périodique de la main est égale à la durée d'une des oscillations propres (oscillations fondamentales et harmoniques) du pendule, celui-ci exécute de fortes oscillations; sinon, il est impossible, avec le mouvement donné de la main, d'imprimer au pendule de fortes oscillations.

Ainsi, dans les exemples précédents, on arrivait à imprimer au pendule de fortes oscillations en donnant à la main un mouvement périodique dont la période était égale à une, deux, trois..... fois la période des oscillations fondamentales du pendule.

Application
aux machines des
principes précédents.

Or les supports des machines sont en général des systèmes élastiques susceptibles de vibrer de diverses manières. Si une partie quelconque du système est écartée de sa position d'équilibre par l'action d'une force extérieure qui cesse immédiatement d'agir, le système, en revenant au repos, dépasse cette position d'équilibre et se met à osciller suivant une loi qui lui est propre. Si l'application de la force perturbante est répétée à des intervalles réguliers; en d'autres termes, si une force périodique agit sur le système, celui-ci est en général obligé de vibrer suivant une loi autre que celle qui lui est propre, la période de cette vibration forcée étant égale à la période de la force qui la produit. Cette période est en général différente de l'une des périodes d'oscillation propre du système, c'est à dire de l'une des périodes des modes de vibration dans lesquels le système est susceptible quand il est écarté de sa position d'équilibre par une force extérieure, puis abandonné à lui-même, cette force cessant d'agir.

Si en est ainsi, le mouvement imprimé au système par la force périodique est très faible, même pour une très grande valeur de cette force, les vibrations forcées qui sont produites ne prennent pas une grande amplitude.

Si, au contraire, la période de la perturbation se trouve être égale à l'une des périodes des oscillations propres du système, les vibrations forcées prennent de grandes amplitudes, si petite que soit la grandeur de la force qui produit la perturbation.

Une machine non équilibrée soumet ses supports à des forces et à des couples périodiques, qui les obligent à exécuter des vibrations forcées. Ces vibrations peuvent être de petite amplitude et avoir peu d'importance même quand la force et le couple agissants ont des valeurs considérables. Toutefois si, parmi les oscillations propres du bâti, il y en a dont la période est rigoureusement, ou à peu près, égale à la période de rotation de la machine, l'amplitude de la vibration forcée devient considérable et prend des valeurs qui sont hors de proportion avec la grandeur de la force qui la produit. C'est ainsi que les machines d'un secteur d'éclairage électrique, bien que fixées sur de larges blocs de béton, peuvent produire dans cette base des vibrations qui, transmises dans le voisinage de l'usine, peuvent devenir désagréables ou même dangereuses pour les immeubles avoisinants. La coque d'un steamer peut être soumise à des vibrations violentes susceptibles d'incommoder les passagers et de causer des avaries au navire. Une machine non équilibrée fixée au plancher d'un atelier peut produire des vibrations dans tout le bâtiment de l'usine malgré la petitesse de la force et du couple qui agissent sur le bâti à un instant donné. Une locomotive éprouve des oscillations violentes et dangereuses si l'une des périodes des couples de balancement autour des divers axes (couples de sacet, de galop, de roulis) coïncide avec la période de l'une des oscillations propres des cylindres sur les ressorts. Un wagon est animé d'oscillations très marquées si la vitesse du train est telle que l'intervalle de temps qui sépare deux chocs des éclisses à cornières est égal à la période de l'une des oscillations propres d'un ou de plusieurs ressorts du wagon chargé.

La question se pose maintenant de connaître quelles sont pour un système donné, les périodes des oscillations propres à ce système ? Si, en effet, on sait déterminer ces périodes, on connaît immédiatement quelles sont, parmi les forces périodiques capables de faire sortir le système de son état d'équilibre, celles qui sont susceptibles de donner à ce système des vibrations dont les amplitudes sont dangereuses pour sa conservation.

Malheureusement on ne peut connaître ces périodes d'oscillations propres que pour des systèmes très simples. Nous allons cependant passer en revue quelques-uns de ces systèmes parce que leur étude détaillée peut fournir quelques renseignements sur le mode d'oscillation propre des systèmes plus complexes.

Oscillations propres
d'un système
élastique simple.

Considérons d'abord comme système élastique simple une masse M portée par une barre métallique dont la masse est très petite par rapport à M . (Fig. 48)

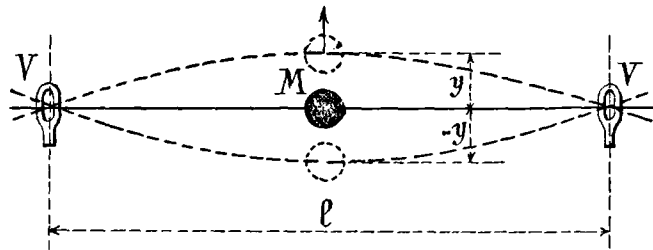


Fig. 48

Ecartons cette masse et cette barre de leur position d'équilibre, puis abandonnons-les à elles-mêmes. Négligeons le frottement de la barre sur ses supports

et la résistance de l'air, et supposons que la distance y du centre de gravité de la masse M à sa position d'équilibre, ou l'amplitude du mouvement de la barre, soit petite. La force résistante qui ramène la barre à sa position d'équilibre peut alors être considérée comme proportionnelle à l'amplitude y ; nous la représentons par $f = -\alpha^2 y$ α^2 , étant une constante qui représente la force susceptible de donner à la masse M un déplacement dont l'amplitude est égale à l'unité.

D'après le principe de d'Alembert, que nous avons énoncé au début de ce chapitre, il y a équilibre à chaque instant entre la force f et

la force fictive d'inertie $-M \frac{d^2y}{dt^2}$, force dirigée dans le sens y du déplacement de la masse M . On a donc pour les équations du mouvement :

$$-M \frac{d^2y}{dt^2} - a^2y = 0$$

ou

$$M \frac{d^2y}{dt^2} + a^2y = 0$$

L'intégrale de cette équation est :

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \alpha \right)$$

dans laquelle A et α sont des constantes déterminées par les conditions initiales.

Le mouvement propre de la masse M est donc une vibration périodique simple dont la période fondamentale d'oscillation propre est :

$$T = \frac{2\pi}{a} \sqrt{M}$$

Oscillations propres
d'un système amorti.

Dans le mouvement de la masse M et de la barre qui la porte nous avons négligé le frottement de la barre sur ses supports et la résistance de l'air. Ces forces agissent pour ramener la barre et la masse M à sa position d'équilibre. Elles doivent donc être ajoutées à la force résistante $-a^2y$.

Ces forces dues au frottement et à la résistance de l'air varient avec la vitesse du mouvement du système. Admettons qu'elles soient proportionnelles à la vitesse $\frac{dy}{dt}$; nous pouvons les représenter par :

$$-b^2 \frac{dy}{dt}$$

En écrivant que les forces $(-a^2y)$ et $(-b^2 \frac{dy}{dt})$ font équilibre à la force d'inertie $(-M \frac{d^2y}{dt^2})$, on trouve pour l'équation du mouvement :

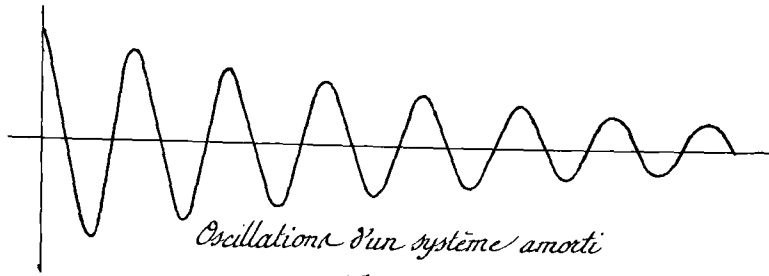
$$M \frac{d^2y}{dt^2} + b^2 \frac{dy}{dt} + a^2y = 0$$

L'intégrale générale de cette équation est :

$$(1) \quad y = B e^{-\frac{bt}{2M}} \sin \left[\frac{t}{M} \sqrt{a^2M - \frac{b^2}{4}} - \beta \right]$$

B et β étant des constantes déterminées par les conditions initiales.

On voit que si $\frac{b^2}{4}$ est plus petit que a^2M , le radical $\sqrt{a^2M - \frac{b^2}{4}}$ est réel et le mouvement représenté par l'équation (1) est un mouvement périodique, dont l'amplitude va en diminuant constamment, comme le



Oscillations d'un système amorti

Fig. 49

montre la figure 49, qui représente ce que l'on appelle un mouvement pendulaire amorti.

Vibrations forcées d'un système soumis à l'action d'une force périodique.

Supposons maintenant que la masse M considérée jusqu'ici ait soumise non-seulement aux forces résistantes que nous avons représentées par $(-a^2y)$ et par $(-b^2 \frac{dy}{dt})$, mais encore à une force accélératrice périodique $F \sin nt$.

agissant à chaque instant suivant la même droite que les forces qui tendent à éteindre les vibrations.

À chaque instant, il y a équilibre entre les forces $(-a^2y)$, $(-b^2 \frac{dy}{dt})$, $F \sin nt$ et la force fictive d'inertie $(-M \frac{d^2y}{dt^2})$.

L'équation du mouvement est donc :

$$-M \frac{d^2y}{dt^2} - a^2y - b^2 \frac{dy}{dt} + F \sin nt = 0$$

ou bien

$$M \frac{d^2y}{dt^2} + b^2 \frac{dy}{dt} + a^2y = F \sin nt$$

L'intégrale complète de cette équation est :

$$(2) \quad y = \frac{F \sin \epsilon}{b^2 n} \sin(nt - \epsilon) + B e^{-\frac{bt}{2M}} \sin \left[\frac{t}{M} \sqrt{a^2 M - \frac{b^2}{4}} - \alpha \right]$$

ϵ étant donné par la formule :

$$(3) \quad \operatorname{tg} \epsilon = \frac{bn}{a^2 - Mn^2}$$

Le terme multiplié par B dans l'équation (2) n'exerce d'influence qu'au début du mouvement; à cause du facteur $e^{-\frac{bt}{2M}}$ il décroît de plus en plus quand le temps croît, de manière à disparaître définitivement.

Étudions les phénomènes qui se produisent à partir de cet instant; l'équation du mouvement de vibration durable est alors :

$$(4) \quad y = \frac{F \sin \epsilon}{b^2 n} \sin(nt - \epsilon)$$

La période τ de ce mouvement est :

$$(5) \quad \tau = \frac{2\pi}{n}$$

Supposons que n soit donné par la formule :

$$a^2 - Mn^2 = 0$$

$$(6) \quad \text{ou} \quad n = \frac{a}{\sqrt{M}}$$

La période τ' du mouvement prend alors la valeur :

$$(7) \quad \tau' = \frac{2\pi}{a} \sqrt{M}$$

De plus l'équation (3) donne :

$$(8) \quad \text{tang } \varepsilon = \pm \infty$$

et si nous supposons que ε est compris entre π et 2π ,

$$(9) \quad \sin \varepsilon = -1 \quad \cos \varepsilon = 0.$$

Enfin l'équation (4) devient :

$$(10) \quad y = \frac{F}{b^2 n} \cos nt = \frac{F\sqrt{M}}{b^2 a} \cos \frac{a}{\sqrt{M}} t$$

Cette formule nous montre immédiatement que si b^2 a une valeur très petite, y prend une très grande valeur. Mais si b^2 est très petit, le mouvement propre du système est celui d'un système soumis uniquement à la force $(-a^2 y)$; la période T d'oscillation propre fondamentale d'un tel système a été trouvée égale à

$$\frac{2\pi}{a} \sqrt{M}$$

Elle est donc égale à τ' $T = \tau'$

Ainsi quand le coefficient b^2 du terme de viscosité et de frottement est suffisamment petit et que la période de la force périodique perturbante est égale à la période d'oscillation propre du système, la masse M prend un mouvement vibratoire dont l'amplitude va en augmentant indéfiniment.

Il existe un certain nombre d'autres systèmes pour lesquels on peut déterminer les sons propres, mais leur étude sortirait du cadre de ces leçons; il suffit que nous ayons indiqué l'origine de certaines vibrations des bâtis qui supportent les machines.

Chapitre V

Le Moteur à alcool.

§^e I - Les réactions chimiques qui se produisent dans un moteur à alcool

Dans le chapitre II de ces leçons, nous avons, en étudiant les constantes physiques et chimiques de l'alcool, indiqué quelles sont les réactions d'oxydation qui se produisent lorsque l'on porte un mélange de vapeur d'alcool et d'air à une température convenable. Cette question si importante, au point de vue de l'emploi de l'alcool dans les moteurs, vient de faire un nouveau pas grâce aux remarquables expériences de deux chimistes bien connus dans le monde de l'industrie de l'alcool: M. Sorel et A. Ceillat.⁽¹⁾

Recherches
de M^e Ceillat

M^e Ceillat, désireux de se rapprocher des conditions de la pratique s'est posé d'abord le problème suivant:

Etant donné de l'alcool éthylique à 90° soit pur, soit dénaturé, soit carburé, quelle est la nature des produits de sa décomposition à haute température en présence de l'oxygène et d'un métal?

Pour résoudre ce problème, M^e Ceillat a procédé de la manière suivante.

1^o - Il a fait passer un courant d'air chargé de l'alcool à étudier dans un tube métallique chauffé à diverses températures; il a recueilli les produits d'oxydation et les a analysés.

2^o - Il a étudié les gaz d'échappement d'un moteur marchant à l'alcool.

Voici les résultats auxquels il est parvenu.

⁽¹⁾ A. Ceillat. Formation de quelques sous-produits dans l'utilisation de l'alcool carburé dans les moteurs. (Congrès des applications de l'alcool dénaturé, du 16 au 23 Décembre 1902. Rapports et comptes-rendus).

[A] - L'air alcoolisé sec traverse un tube de cuivre chauffé à haute température.

Supposons que nous dirigeons dans un tube de cuivre chauffé un mélange d'air et de vapeurs d'alcool éthylique à 90° soit pur, soit dénaturé, soit carburé, nous obtenons les résultats suivants. (1)

(α) - À la température du Rouge vif (600° à 700°) on obtient :

- acide acétique ($C^2H^4O^2$) en proportions dosables ;
 - acide carbonique (CO^2) en quantité considérable ;
 - traces de benzène (C^6H^6) ,
 - „ de naphthaline ($C^{10}H^8$) ,
 - „ d'éthylène (C^2H^4) ,
 - „ d'eau ,
 - „ de trioxyméthylène.
- pas d'aldéhyde acétique (C^2H^4O).

Dans ces conditions, l'alcool est complètement brûlé.

(β) - À la température du Rouge sombre (400° à 500°), on a :

- acide acétique de 10 à 15% du poids de l'alcool employé ;
- acide carbonique { de 9 à 10% avec l'alcool pur ;
une très petite quantité avec l'alcool à 90°
contenant 10% de méthylène de la région ;
- aldéhyde acétique en petite quantité ;
- acétate d'éthyle ($C^4H^8O^2$) en très petite quantité ;
- eau de 5 à 6% .

Ces conditions sont celles dans lesquelles on obtient le plus d'acide acétique.

(γ) - À la température de 300° à 400° :

- acide acétique de 5 à 6% ;
- acide carbonique { de 7 à 8% avec l'alcool pur ;
une très petite quantité avec l'alcool à 90°
contenant 10% de méthylène de la région .

(1) Les proportions pour cent qui sont indiquées ne doivent pas être regardées comme des nombres absolus ; elles indiquent seulement l'ordre de grandeur et la proportion des composés formés .

aldéhyde acétique de 10 à 15% ;

alcool non transformé de 4 à 5% .

Dans ces conditions, c'est l'aldéhyde acétique dont la production est dominante.

(5) - Et la température de 200° à 300° :

aldéhyde acétique de 10 à 15% ;

alcool non transformé de 35 à 40% ;

[B] - L'air alcoolisé sec traverse un tube de fer chauffé à diverses températures - ou passe au contact d'une spirale de platine chauffée à diverses températures.

Dans ces conditions comme dans le cas que nous venons d'analyser, les produits condensables et oxydes formés par l'oxydation ou la dissociation de l'alcool sont peu nombreux. L'acide acétique se forme en quantité notable à la température de 400° ; en dehors de ce produit, on ne trouve aucune substance susceptible d'attaquer le métal.

[C] - L'air alcoolisé chargé de vapeur d'eau est mis au contact de parois métalliques chauffées.

La présence de la vapeur d'eau a une influence notable sur la marche de l'oxydation ou de la dissociation des vapeurs d'alcool provoquées par des parois métalliques chaudes.

Si, dans un tube de cuivre rouge, porté à une température de 200°, on fait passer un mélange de vapeurs alcooliques sèches et d'air, on n'obtient qu'une très faible transformation de l'alcool employé. Au contraire, si le mélange contient de la vapeur d'eau, l'oxydation a lieu immédiatement et il y a formation abondante d'aldéhyde éthylique en même temps que la température du tube s'élève considérablement.

Si on remplace le tube de cuivre par un tube de verre dans lequel se trouve une spirale de cuivre, la spirale devient incandescente; le mélange gazeux, quoique chargé de vapeur d'eau, est alors susceptible de faire explosion.

Cette observation intéressante peut se traduire de la manière suivante:
Loi de A. Cuillat. Un mélange d'alcool et d'air, sous l'influence d'une paroi métallique chaude, est susceptible d'être enflammé à une température relativement basse et à laquelle l'inflammation n'aurait pas lieu sans la présence de la vapeur d'eau.⁽¹⁾

En résumé, on voit :

1^o — qu'à une température suffisamment élevée, l'alcool est complètement

(1) Un grand nombre de faits viennent de remettre en question cette influence sur les réactions chimiques de la présence de certains corps appelés Catalyseurs. Dans une thèse remarquable soutenue à Paris, M^e Victor Henri a donné un historique très complet de ces réactions catalytiques (V. Henri. Lois générales de l'action des diastases)

Le saccharose est transformé en solution aqueuse, en glucose et levulose, en présence d'un acide quelconque; si on dose l'acidité par une méthode physique ou chimique, on la trouve constante pendant la durée de la réaction, de sorte qu'à la fin, lorsque tout le saccharose est interverti, on retrouve l'acide en entier. En faisant agir une solution de platine colloïdal préparé par le procédé de Bredig, Enst (Zeitschrift für physikalische Chemie. t. 37 - 1901 - p. 454) a montré dans une de ses expériences qu'une solution contenant $\frac{1}{25}$ de milligramme de platine, avait produit en 14 jours à la température ordinaire la combinaison de 10 litres du mélange et que, à la fin, la solution de platine colloïdal était tout aussi active qu'au début.

Dans un mélange d'oxygène et d'hydrogène, dans les proportions nécessaires à la formation de l'eau, se trouve plongé un fil d'argent. Si le mélange est parfaitement sec, le fil d'argent peut être porté au blanc sans produire la combinaison qui a lieu à une température beaucoup plus basse quand le mélange considéré contient des traces de vapeur d'eau.

Ostwald (Zeitschrift für physikalische Chemie. t. 2 - p. 127-147) a étudié l'action de l'acide Iodhydrique sur l'acide bromique; cette réaction est fortement accélérée par la présence d'un acide quelconque qui joue le rôle de catalyseur. La réaction $[HBrO_3 + 6HI = HBr + 3H_2O + 3I_2]$ va en se ralentissant fortement vers la fin; ce ralentissement est dû à l'apparition de l'iode jouant le rôle de catalyseur négatif et ralentissant la réaction, ainsi que Ostwald et Meyerhoffer s'en sont assurés, en ajoutant dès le début une certaine quantité d'iode. C'est à ce phénomène d'apparition, dans la réaction, d'un corps susceptible de l'accélérer ou de la ralentir que l'on a donné le nom d'autocatalyse.

brûlé en donnant surtout de l'acide carbonique;

2^o - que dans le voisinage de la température ^{du rouge} sombre, on constate l'apparition de l'acide acétique, qui peut atteindre des proportions assez considérables vers une température de 400°;

3^o - qu'enfin les dérivés aldéhydiques se produisent à une température inférieure à la précédente; la proportion de ces derniers peut atteindre jusqu'à 15% du poids de l'alcool dénaturé ou 7,5% du poids de l'alcool carburé.

On est donc en droit de supposer que dans un moteur marchant à l'alcool carburé, les dérivés aldéhydiques se forment surtout au début de la mise en marche et en général lorsque la température des surfaces métalliques n'est pas très élevée. L'acide acétique se produit au contraire lorsque les parois du cylindre et du tube d'échappement sont portés à une température suffisamment élevée.

D'autre part, comme le remarque M^e Trillat, la température seule ne serait pas suffisante pour produire ces phénomènes d'oxydation. Ils semblent surtout dus à la présence des surfaces métalliques chaudes qui jouent le rôle des substances auxquelles, dans ces leçons, nous avons déjà donné le nom de substances catalytiques; en effet, des essais de laboratoire ont nettement démontré que les propriétés de ces surfaces métalliques augmentaient avec l'usage, en même temps que l'état moléculaire du métal se modifiait. Il paraît donc rationnel d'admettre que les parois chaudes du cylindre ont, en dehors de l'action de température, une autre action non négligeable sur l'explosion du mélange gazeux.

Les conclusions de M^e Trillat relatives aux produits d'oxydation de l'alcool sont corroborées par les études que M^e Sorel a entreprises sur la composition des gaz d'échappement des moteurs fonctionnant à l'alcool dénaturé ou carburé.

Recherches de M^e Sorel. M^e Sorel fait des prises d'essai sur le tuyau d'échappement.

aussi près que possible de la soupape.⁽¹⁾ Il recueille d'une part les produits condensables à la température ordinaire et d'autre, part les gaz susceptibles de s'échapper dans l'atmosphère.

1^o - Le résidu condensable dont le volume varie, suivant les moteurs, de quelques gouttes à quelques centimètres cubes, ne fournit qu'une indication moyenne sur la composition qualitative des produits condensables de la combustion.

Ce liquide a toujours présenté, à des degrés plus ou moins marqués, les réactions de l'acide acétique.

L'aldéhyde acétique a pu également être mis en évidence dans un grand nombre de cas.

Les observations faites jusqu'ici ne permettent pas d'établir une relation entre l'acidité des liquides condensés et le rendement du moteur. Il semble toutefois qu'à ce point de vue, les différences observées entre les divers moteurs tiennent moins au fonctionnement de ces moteurs qu'à la carburation plus ou moins parfaite.

2^o - Des conclusions un peu plus nettes ressortent de l'étude des produits gazeux non condensables.

Ces produits sont des carbures d'hydrogène [Éthane (C^2H^6), Propane (C^3H^8), Acétylène (C^2H^2)], de l'oxyde de carbone (CO), de l'acide carbonique (CO^2), de l'oxygène libre et de l'azote.

Désignons par V_1 le volume de l'acide carbonique et par V_2 le volume d'acide carbonique que fournirait la combustion complète des composés combustibles.

$$\text{Le rapport } \rho = \frac{V_2}{V_1 + V_2}$$

⁽¹⁾ Sorel - Note sur les phénomènes de la combustion dans les moteurs fixes à alcool. (Concours international de moteurs et appareils utilisant l'alcool dénaturé. - Mai 1902.)

Sur les phénomènes de la combustion dans les moteurs fixes à alcool (Revue de Mécanique. t. XIII. N^o 1, 2)

a reçu de M. Sorel le nom de Taux d'inutilisation du carbone.

De même, soit U_2 le volume d'hydrogène contenu dans les carbures d'hydrogène [C^2H^6 , C^3H^8 ,] et U_1 le volume d'hydrogène qui correspond au volume $V_1 + I_2$ d'acide carbonique, le rapport :

$$I^* = \frac{U_2}{U_1}$$

est le Taux d'inutilisation de l'hydrogène.

Ces rapports ρ et I^* sont liés par une relation très nette au rapport qui existe entre l'oxygène réellement contenu dans le mélange d'alcool et d'air introduit dans le moteur et l'oxygène qui est théoriquement nécessaire à la combustion de cet alcool. Désignons ce dernier rapport par R .

Quand le rapport R est égal ou supérieur à 1,50, les rapports ρ et I^* sont compris entre 0 et 15%.

Au contraire, quand le rapport R est compris entre 0,80 et l'unité, le rapport ρ prend des valeurs qui peuvent atteindre 55% et le rapport I^* des valeurs qui peuvent aller jusqu'à 75%.

Il résulte donc de ces expériences de M. Sorel que la combustion complète de l'alcool exige en moyenne une quantité d'air qui est environ une fois et demie la quantité d'air théoriquement nécessaire.

Relation pour un moteur

entre les valeurs des rapports ρ et I^* d'une part et d'autre part le rendement et l'état des soupapes.

ρ et I^* d'une part et d'autre part le rendement et l'état des soupapes.

D'autre part, et c'est là un point sur lequel il convient

d'insister, et de petites valeurs de ρ et de I^* correspondent pour le moteur étudié un bon rendement et un état des soupapes indiquant que le moteur peut fonctionner sans présenter les inconvénients si souvent reprochés à l'alcool soit simplement dénaturé, soit carburé, à savoir : l'encrassement et l'adhérence des soupapes d'admission, l'encrassement ou l'oxydation des soupapes de refoulement.

Au contraire, le mauvais état des soupapes et la mauvaise utilisation du combustible (grandes valeurs de ρ et de I^*) se présentent

simultanément et à des degrés très différents pour une même composition brute du mélange explosif.

Preons quelques exemples caractéristiques.

1^{er} - Moteur Brouhot de 16 chevaux à 180 tours.

Rendement effectif: 38% avec l'alcool dénaturé à pleine charge,
32% avec l'alcool carburé ——— „ ———.

Les valeurs de ρ et de Γ sont voisines de zéro.

Les soupapes d'admission et de refoulement sont très propres, bien que le liquide condensé soit nettement acide.

Le rapport de l'oxygène introduit à l'oxygène théoriquement nécessaire pour la combustion est 1,45.

2^e - Moteur Luvon de 8 chevaux à 180 tours.

Rendement effectif: 24% avec l'alcool dénaturé à pleine charge,
22% avec l'alcool carburé ——— „ ———.

Les valeurs de ρ et de Γ sont voisines de zéro.

Les soupapes d'admission et de refoulement sont très propres malgré l'acidité très marquée du liquide condensé.

Le rapport de l'oxygène introduit à l'oxygène théoriquement nécessaire pour la combustion est 1,52.

3^e - Locomobile de 13 chevaux à 220 tours de la Société de Marienfeld.

Rendement effectif: 14% avec l'alcool dénaturé à pleine charge.

ρ est environ égal à 55% ,

Γ ——— „ ——— 70% .

Le rapport de l'oxygène introduit à l'oxygène théoriquement nécessaire pour la combustion est 0,80.

Les soupapes sont cependant ici très nettes.

4^e - Moteur Bardou de 3 chevaux à 700 tours.

Rendement effectif: 8% avec l'alcool carburé à pleine charge.

ρ et Γ sont voisins de 30% .

Le rapport de l'oxygène introduit, à l'oxygène théoriquement nécessaire est égal à 1.

Les valeurs des rapports ρ et r ne dépendent pas seulement de la composition du mélange d'air et de vapeurs combustibles introduit dans le moteur, mais encore de la constitution de ce mélange et en particulier du degré de vaporisation du liquide combustible. Si en effet l'alcool au lieu d'être vaporisé est simplement divisé, les gouttelettes qui viennent toucher les soupapes portées à une haute température s'y décomposent brusquement avec formation de carbures d'autant plus riches en carbone que la température est plus élevée et la durée du contact plus prolongée. Le degré de vaporisation de l'alcool influe donc sur l'utilisation de ce combustible en même temps que la proportion d'air qui est mélangée à sa vapeur.

Or cette constitution du mélange introduit dans le moteur dépend essentiellement de la construction du carburateur.

Mais avant de passer à l'étude de cet organe essentiel de tout moteur, il convient de faire une remarque.

La présence constante de l'acide acétique dans les produits qui s'échappent du moteur porterait à admettre qu'il y a constamment attaque des soupapes d'échappement. Il n'en est rien cependant, au moins en cours de marche: beaucoup des soupapes examinées par M. C. Ringelmann et Sorel à la suite des expériences que nous venons de relater ne présentaient pas trace d'attaque, même quand l'acidité des vapeurs produites était très sensible. Dans quelque cas seulement difficiles à relier les uns aux autres, ils ont rencontré cet enduit jaunâtre ou ces champignons jaunâtres, indices d'une attaque; dans un seul cas, il y a eu attaque nette du siège de la soupape d'échappement.

Evidemment puisque il existe de l'acide acétique dans les vapeurs contenues dans le cylindre du moteur, il faut bien admettre qu'après l'arrêt et le refroidissement du moteur, il peut se condenser un liquide acide

qui attaque et fait rouiller le métal. Il convient donc, après arrêt, de graisser le cylindre et de faire faire quelques tours à l'arbre pour empêcher le contact direct du métal et de l'eau condensée. ⁽¹⁾

§2 — Le Carburateur. ⁽²⁾

Comme nous venons de le voir, la construction ^{du carburateur} a une grande importance au point de vue de la bonne marche du moteur. Rappelons les qualités que doit avoir un bon carburateur.

Qualités d'un bon carburateur.

1^o — Le liquide doit être complètement évaporé, c'est à dire que le mélange ne doit contenir aucune trace de particules liquides ;

2^o — Le mélange doit être bien homogène, c'est à dire que l'air carburé par l'alcool qui sert de combustible gazeux et l'air supplémentaire doivent être intimement mélangés et brassés. C'est à cette condition que

(1) C'est dans ce but que certains constructeurs disposent leurs carburateurs pour fonctionner de la manière suivante.

Lorsqu'on s'apprête à arrêter la marche du moteur à alcool, on termine par quelques explosions à l'essence qui ont pour effet de nettoyer et lubrifier légèrement les surfaces qui auraient tendance à s'oxyder lors du refroidissement. Le carburateur de l'Economique présente une double conduite aboutissant au pointeau unique, l'arrivée du liquide. Cette disposition nécessite des réservoirs munis de leurs robinets d'arrêt, placés à la même hauteur.

Les carburateurs Fillel et de Marienfeldt présentent deux réservoirs à niveau constants avec deux gicleurs identiques ; un robinet à trois voies permet de provoquer instantanément et au choix du conducteur l'aspiration soit sur l'alcool soit sur l'essence.

Pour les moteurs fixes, ce système de double combustible est excellent. Pour les automobiles, il ne semble pas pratique ; pour celles-ci, une simple burette peut remplacer le second réservoir contenant de l'essence, mais il y a là une sujétion à laquelle s'astreindraient bien peu de sportsmen.

(Congrès des Applications de l'Alcool dénaturé. Communication de M. L. Lézissé et de la Palette — p. 175).

(2) Mémoires cités de M. Sorel.

L. Lézissé et de la Palette. Les carburateurs à alcool (Communication faite au Congrès des applications de l'alcool dénaturé. Décembre 1902).

que la propagation de l'explosion se fait normalement dans la masse au grand avantage du rendement.

3° — La quantité d'air introduite doit être dans une proportion convenable avec le combustible.

Influence de la tension
de vapeur
du combustible.

Considérons à une température déterminée T un système formé d'un liquide et de la vapeur de ce liquide, par exemple de l'alcool ordinaire et de la vapeur émise par cet alcool. Si, à cette température T , la pression p supportée par le système est égale à la tension maxima P de la vapeur, le système est en équilibre, c'est à dire que le liquide ne peut se transformer en vapeur et qu'inversement la vapeur ne peut passer à l'état liquide. Si la pression p est supérieure à P , la vapeur peut se condenser et le liquide ne peut se vaporiser; si enfin la pression p est inférieure à P , le liquide peut se vaporiser et la vapeur ne peut se condenser.

Preons maintenant une vapeur sèche (ne contenant pas de particules liquides) à la température T ; si la pression p de cette vapeur est inférieure ou égale à P , une partie de la vapeur ne peut passer à l'état liquide; au contraire, si la pression p est supérieure à P une partie de la vapeur peut se condenser. ⁽¹⁾

D'autre part, la tension maxima P d'une vapeur va en croissant ou en décroissant avec la température T à laquelle elle est portée. Si donc une vapeur dont la pression est P est maintenue à une température T_1 inférieure à T , une partie de cette vapeur pourra se condenser.

La température T représente donc la température minima à laquelle on doit porter une vapeur pour qu'elle puisse rester sèche. Pour avoir cette température, il suffit de tracer sur la courbe des tensions

⁽¹⁾ La condensation ne se produit pas toujours; elle peut éprouver un certain retard analogue aux retards à l'ébullition et à la solidification: il en est ainsi lorsque la vapeur ne contient aucune poussière ou n'est pas en contact avec un gaz ionisé (Recherches de M. C. J. J. Thomson et Langevin).

maxima de vapeur l'ordonnée P ; l'abscisse correspondante donne la valeur de la température T .

Au lieu d'une vapeur d'un liquide déterminé, supposons que nous ayons un mélange de cette vapeur avec un gaz comme de l'air. D'après la loi du mélange des gaz et des vapeurs, les conditions que nous venons d'indiquer pour la condensation de cette vapeur s'appliquent à la condition de prendre pour tension p de la vapeur, la pression ω qu'elle a dans le mélange considéré. Si le mélange est à la température T et si la pression ω est inférieure ou égale à P , la vapeur ne se condense pas à l'état liquide; elle peut se condenser si la pression ω devient supérieure à P . Quand la pression ω de la vapeur dans le mélange d'air et de vapeur est égale à P , le mélange est dit saturé de la vapeur considérée. La température T est encore ici la température minima à laquelle on doit porter le mélange pour qu'il soit saturé; c'est la température au-dessous de laquelle la condensation de la vapeur devient possible et dans certains cas devient certaine.

Or nous venons de dire que le mélange d'air et de vapeur combustible doit être constitué de telle manière qu'au moment de son entrée dans le moteur il ne contienne aucune particule liquide, qu'il soit un mélange de deux gaz. D'après ce qui précède, il est donc nécessaire que la température de ce mélange ne soit pas inférieure à une certaine limite qui est la température pour laquelle la pression de la vapeur dans le mélange formé est égale à la tension maxima de la vapeur à cette température. Le carburateur doit donc fournir un mélange d'air et de vapeur combustible qui, dans les conditions les plus défavorables, doit être saturé à la température à laquelle il est porté.

On voit donc combien il est important pour la construction d'un carburateur, de connaître la courbe des tensions de vapeur des liquides combustibles qu'il doit fournir à un moteur.

Cette détermination des tensions de vapeur des liquides employés pour carburer l'air vient d'être faite par M. Sorel ; les résultats sont représentés dans la figure 1.

Ces expériences nous permettent de connaître pour un mélange déterminé d'air carburé la température de saturation ou la température minima au-dessous de laquelle la vapeur combustible se condense à l'état liquide.

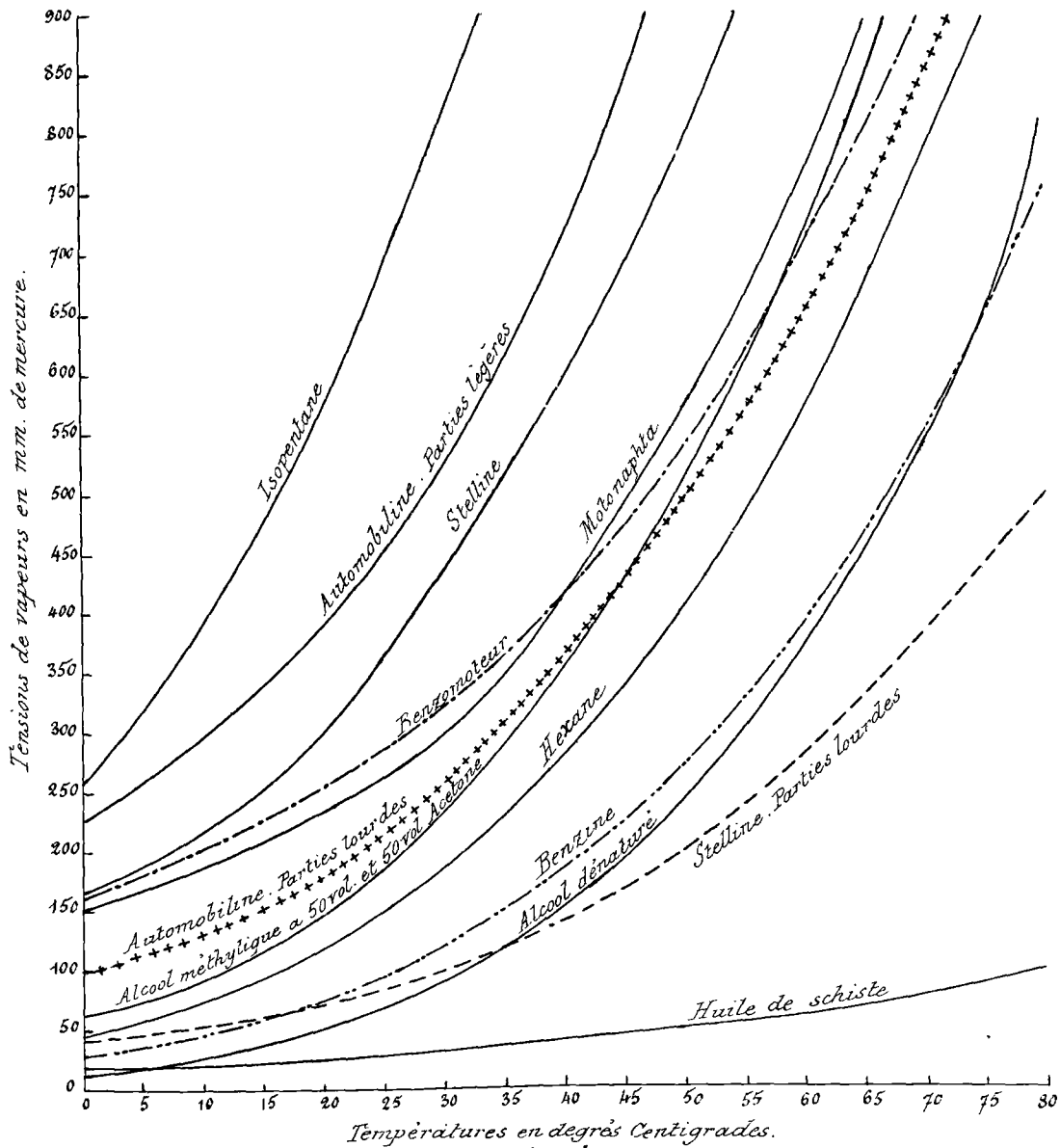


Fig. 1.

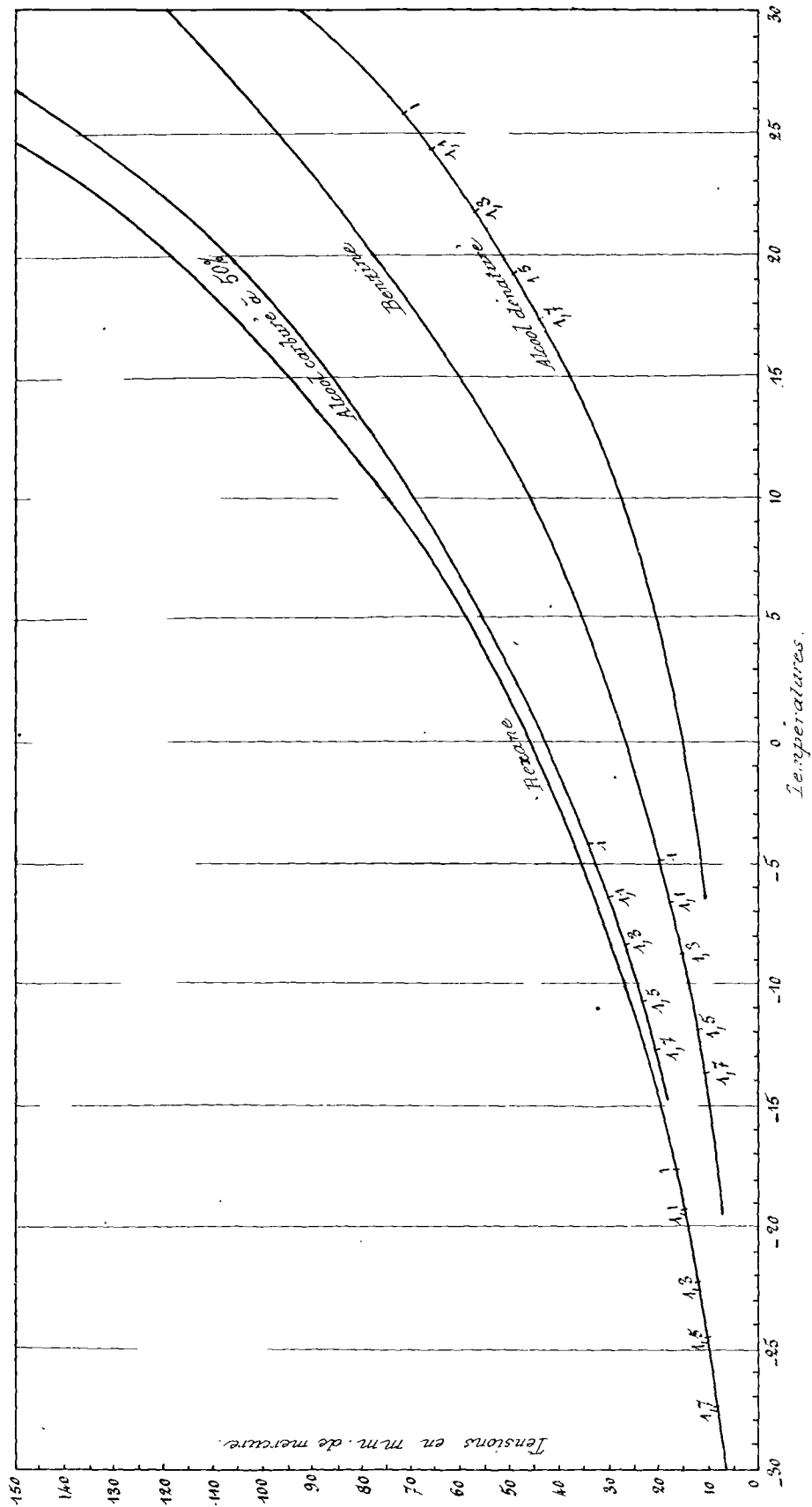
Prenons par exemple l'Hexane normal, (C^6H^{14}) qui est un des constituants des essences destinées aux automobiles. La quantité d'air théoriquement nécessaire pour brûler complètement 1 kg. d'hexane est égale à 15,337. Prenons un tel mélange (15,337 d'air + 1 kg. d'hexane) sous la pression atmosphérique; il est facile de connaître la pression de la vapeur d'hexane dans ce mélange. Elle est environ de 17 $\frac{m}{m}$ de mercure; la courbe des tensions de vapeur de l'hexane donne (-17°,2) pour valeur de la température à laquelle la tension maxima de cette vapeur est égale à 17 $\frac{m}{m}$ de mercure; la température de (-17°,2) est donc la température minima que doit avoir pour être saturé, un mélange d'hexane et d'air contenant la quantité théoriquement nécessaire pour la combustion complète.

Si l'on emploie 1,3 fois la quantité d'air nécessaire, soit 19,938 par kilog. d'hexane, la température minima permettant une vaporisation complète est (-24°). Enfin si l'on emploie 1,7 fois la quantité théorique nécessaire, la température minima pour la vaporisation totale est -27°.

Prenons de l'alcool dénaturé⁽¹⁾. Si nous employons la quantité d'air strictement nécessaire pour la vaporisation complète soit 7,685 par kilogr. du mélange combustible, la température minima correspondant à la vaporisation totale est de +25°,8; cette température devient égale à +17°,5 si l'on emploie 1,7 fois la quantité d'air théorique.

La figure 2 fait connaître les températures minima de vaporisation complète pour quatre combustibles, en présence de quantités d'air représentant

(1) Composition de l'alcool dénaturé étudié :	0 ^{kg.} , 9098	alcool éthylique pur à 90°.
	0, 0682	alcool méthylique pur à 90°.
	0, 0210	acétone.
	soit 0, 9098 x 0,857 = 0,7797	C^2H^6O (alcool éthylique à 100°).
	0, 0682 x 0,842 = 0,0574	CH^4O (alcool méthylique à 100°).
	0,0210	C^3H^6O (acétone).
	0,1409	H^2O .



Températures de saturation — pour divers combustibles.

Fig. 2.

1 fois - 1,1 - 1,3 - 1,5 - 1,7 fois la quantité théoriquement nécessaire à la combustion. On voit qu'il en résulte des différences très notables entre les pétroles légers, caractérisés par l'hexane et l'alcool carburé à 50% dont les courbes de tensions sont voisines. Le premier peut donner un mélange explosif convenable, [c'est à dire dans lequel le liquide est complètement vaporisé] à de basses températures auxquelles le mélange d'air et d'alcool carburé ne peut exister à un état purement gazeux dénué de particules liquides.

Ceci nous montre déjà qu'un carburateur susceptible de fournir avec l'essence un bon mélange explosif peut ne donner que de mauvais résultats si on l'emploie avec de l'alcool carburé à 50%.

La température minima de vaporisation complète, que nous venons de déterminer, indique une limite inférieure au-dessous de laquelle il convient de ne pas descendre si l'on veut satisfaire à la condition essentielle de la vaporisation entière du combustible et de son maintien à l'état de vapeur jusqu'au moment où la combustion est complète.

Nécessité d'élever la température Or il est une cause qui intervient pour abaisser la température du mélange gazeux fourni par le carburateur fonctionnant avec l'alcool dénaturé. **des carburateurs fonctionnant avec l'alcool dénaturé.** Or il est une cause qui intervient pour abaisser la température du mélange gazeux fourni par le carburateur, c'est la vaporisation même du combustible. Par exemple, la vaporisation de 1 kgr. d'alcool dénaturé absorbe 288,50 calories et est

(1) D'après Regnault, les chaleurs de vaporisation sont au voisinage de 20°:

pour	C^2H^6O	— 252 - 11,4 =	240,6 calories	C^3H^6O	— 137,3	calories
	C^2H^4O	— 267 - 12,6 =	254,4 "	H^2O	— 592	"

La vaporisation de 1 kgr. d'alcool dénaturé absorbe donc:

$$240,6 \times 0,7797 + 254,4 \times 0,0574 + 137,3 \times 0,021 + 592 \times 0,1419 = 288,48 \text{ calories.}$$

La chaleur spécifique de l'alcool éthylique à 90° au voisinage de 20° est 0,791;

celle de l'alcool méthylique à 90° ————— 0,680;

celle de l'acétone ————— 0,501.

Si nous employons 7^k,685 d'air par kgr. du mélange combustible, la capacité calorifique du mélange air et liquide sera: $0,791 \times 0,9098 + 0,680 + 0,0682 + 0,501 \times 0,021 + 0,2375 \times 7,685 = 2,6016$.

La température initiale du mélange doit donc être:

$$25^{\circ},8 + \frac{288,48}{2,6016} = 136^{\circ},68.$$

capable d'abaisser de 110° environ la température d'un mélange de vapeur d'alcool et d'air contenant la quantité d'air théoriquement nécessaire à une combustion complète.

Si donc on veut que la température du mélange d'air et d'alcool dénaturé fourni par le carburateur ne s'abaisse pas au-dessous de la température minima ($25^{\circ},8$) de vaporisation totale, il faut que cette température ne soit jamais inférieure à :

$$25^{\circ},8 + 110^{\circ} = 136^{\circ} \text{ environ.}$$

Ainsi quand on emploie de l'alcool dénaturé avec le poids d'air théoriquement nécessaire à sa combustion complète, il faut pour que le combustible soit réellement vaporisé dans ce mélange, ne pas abaisser la température de celui-ci au-dessous de 136° . Cette température initiale minima est de 92° environ quand on emploie une quantité d'air qui est égale à 1,7 fois la quantité théorique.

Prenez au contraire un mélange d'hexane et d'air. Les valeurs initiale minima des températures du mélange sont :

$$+11^{\circ} \quad , \quad -2^{\circ} \quad , \quad -10^{\circ} \quad ,$$

si les quantités d'air employées sont 1 - 1,3 - 1,7 fois la quantité théorique.

Ces résultats nous montrent qu'il ne faut pas songer à faire fonctionner un carburateur à alcool dénaturé sans le réchauffer assez pour porter le mélange formé à une température initiale minima.

Beaucoup de constructeurs arrivent à réaliser cet échauffement en employant la chaleur dégagée par les gaz de l'échappement. Mais au démarrage ils se trouvent dans la nécessité d'employer pendant quelque temps de l'essence de pétrole avant d'alimenter leur moteur à l'alcool. On voit en effet que les températures minima initiales sont beaucoup plus petites pour l'hexane (essence de pétrole) que pour l'alcool dénaturé.

Influence
d'un excès d'air.

D'autre part, nous voyons qu'en augmentant la quantité d'air à mélanger à la vapeur combustible, on abaisse d'une manière sensible

la valeur de cette température minima initiale.

De là résulte immédiatement la proposition suivante :

La proportion d'air admise par kilogramme de combustible doit être d'autant plus grande que :

1^o - la surface de transmission de la chaleur des gaz brûlés aux gaz carburés en plus réduite ;

2^o - le temps du contact entre les gaz carburés et les surfaces d'échauffement en plus court ;

3^o - le liquide en moins volatil. En effet dans ce cas pour que les températures minima de vaporisation complète du liquide combustible ne soient pas trop élevés, il faut que la tension de la vapeur combustible dans le mélange introduit dans le moteur ait une petite valeur, c'est à dire que ce mélange contienne plus d'air.

Influence de la vitesse de rotation du moteur. Nous avons parlé du temps de contact entre les gaz carburés et les surfaces d'échauffement de ces gaz. La vitesse de rotation du moteur joue en effet un très grand rôle.

Suivant qu'on opère sur des moteurs légers (moins de 30 kg. par cheval) animés par suite d'une grande vitesse, qui peuvent être adoptés pour la commande de pompes centrifuges, d'écrémuses, de dynamos, etc... ou qu'on opère sur des moteurs relativement lourds et lents, le moteur fait de 1500 à 1800 par minute ou de 180 à 250 tours. Comme ces moteurs sont à quatre temps et qu'un temps correspond à une demi-révolution du volant, il en résulte que la durée de la carburation varie entre $\frac{60}{3.600}$ et $\frac{60}{360}$ secondes soit de $\frac{1}{60}$ à $\frac{1}{6}$ de seconde. Il faut que dans un temps aussi court, la carburation soit aussi complète que possible.

Il faut donc augmenter la vitesse d'évaporation des gouttelettes liquides qui sortent du gicleur et sont entraînées par l'air. On y parvient en élevant la température de la surface de transmission de la chaleur provenant des gaz brûlés ou en offrant aux gouttelettes une plus grande

surface d'évaporation c'est à dire en produisant une arrivée supplémentaire d'air.

La proportion d'air qui entre dans le mélange combustible fourni au moteur doit donc être d'autant plus grande que la vitesse de ce moteur est plus considérable.

Nous retrouvons un résultat indiqué par l'expérience, résultat dont nous avons déjà montré l'importance dans la construction des carburateurs (Etude du carburateur Krebs).

Conclusion

De toute cette étude due à M.^e Sorel, résultent les conclusions de l'étude de M. Sorel, suivantes dont l'importance dans la question des carburateurs n'échappera à personne.

1^o - Il faut, donner aux masses métalliques qui dans les carburateurs sont destinées à transmettre la chaleur des gaz brûlés aux gaz carburés, un plus grand poids, une plus grande surface de contact, une plus haute température, dans le cas des alcools plus ou moins carburés que dans le cas des essences légères de pétrole.

Un carburateur à alcool doit plutôt se rapprocher des bons types de carburateurs pour huiles de schistes ou pétroles lampants que des types plus ou moins modifiés dérivant des appareils pour automobiles.

2^o - Il convient d'opérer à une température d'autant plus élevée et avec une quantité d'air d'autant plus grande que l'on veut avoir une évaporation plus rapide du liquide combustible c'est à dire que la vitesse de rotation du moteur est plus considérable.

On voit donc qu'il est impossible de faire partir un moteur à alcool plus ou moins carburé, à la température ordinaire sans qu'il se produise au début des combustions incomplètes qui ruinent les soupapes. Dans le cas des moteurs fixes, la meilleure solution est d'employer au

debut un peu d'essence légère de pétrole ⁽¹⁾

En définitive, un carburateur suffisant pour les carbures légers de la série du pétrole ne convient pas pour l'alcool dénaturé ou carburé. Par contre un carburateur convenable pour l'alcool s'appliquera à l'essence de pétrole. Un carburateur vaporisant complètement les huiles lourdes, les huiles de schiste par exemple, conviendra pour tous les produits plus volatils.

Construction Comme nous venons de le voir par les principes développés, les divers carburateurs vont se différencier :

- 1^o - par les moyens de formation du mélange explosif ;
- 2^o - par la manière de réchauffer le mélange produit ;
- 3^o - par les moyens à employer pour produire un mélange convenablement homogène.

Moyens de formation du mélange explosif. Trois systèmes se trouvent en présence : ⁽²⁾
(a) - Le gicleur-diffuseur qui nécessite soit un réservoir à niveau constant comme les carburateurs d'automobiles, soit des pompes comme les appareils de Deutz et d'Oberursel, soit des réservoirs à pression comme dans les carburateurs Swiderski, type Longuemare modifié. Ces appareils comportent des orifices plus ou moins capillaires qui risquent toujours d'être obstrués par des corps étrangers.

A ce type appartiennent les carburateurs d'automobiles, le carburateur Martha, les carburateurs de Kuhlstein et de Marienfeld, le carburateur Leniaure, le carburateur Longuemare, le carburateur Richard, les carburateurs de Noel, de Deutz, d'Oberursel, etc...

(b) - Le distributeur par soupape qui est plus simple et d'un

(1) Nous avons vu plus haut que certains carburateurs à alcool étaient disposés en vue de cette éventualité.

(2) Considérations empruntées au remarquable rapport présenté par M. M. L. Lérissé et H. de la Gallette au Congrès des Applications de l'alcool dénaturé (Décembre 1902).

fonctionnement plus régulier mais nécessite l'emploi d'un réservoir de combustible en charge ^{dont} les inconvénients en cas de fuites sont appréciables.

A ce type appartiennent les carburateurs Bosch, Altmann, l'Economique, Keilung, Oerst, Ateliers de Dresde.

(c) - Les distributeurs mécaniques des types Gobron-Beillie et D'Alain.

Pour un combustible peu volatil comme l'alcool dénaturé ou carburé, le premier système semble préférable au point de vue de la pulvérisation du liquide.

Comment se fait le réchauffage et en quelle partie de l'aspiration s'exerce-t-il ?

Le réchauffage emprunte de la chaleur à trois sources distinctes :

- 1° Les gaz d'échappement ;
- 2° L'eau chaude de la double enveloppe du moteur ;
- 3° La chaleur perdue du brûleur, qui sert à porter au rouge le tube allumeur du cylindre, quand on emploie ce mode d'inflammation.

Ce dernier système présente des avantages pour le moteur de faible puissance et bon marché.

Les deux premiers systèmes ont l'inconvénient de ne faire sentir leurs effets qu'après une marche suffisante. Mais il est facile de faciliter les démarrages en introduisant de l'eau chaude dans les appareils de la dernière catégorie ; pour les autres, on est obligé de faire le chauffage préalable de l'appareil par inflammation d'une petite quantité d'alcool.

M. M. Lévissé et de la Palatte préfèrent le réchauffage par l'eau chaude qui, étant à une température de 75° à 80°, semble la plus favorable pour vaporiser l'alcool et compenser suffisamment l'abaissement de température produit par cette évaporation sans donner un air carburé trop chaud. De plus, ce système se prête plus facilement à un bon réglage pratique au moyen d'un robinet étranglant cette circulation d'eau.

Partie de l'aspiration sur

laquelle s'exerce le réchauffage. S'exerce le réchauffage.

- 1^o - Le réchauffage s'exerce sur l'ensemble de l'appareil (Longuemare, Gilles-Forest, etc....) ..
- 2^o - Le réchauffage s'exerce sur la totalité de l'air qui est destiné à être fortement carburé, avec adjonction d'air froid supplémentaire pour parfaire le mélange. (Altmann, l'Economique) .
- 3^o - Le réchauffage s'exerce sur le mélange explosif. (Martha, Japy, Dürr, Dresde, Kuhlstein).
Le carburateur Duplex réchauffe à la fois l'air à carburer et l'air supplémentaire.
- 4^o - Le réchauffage se fait sur l'air et l'alcool liquide, et le mélange explosif se fait ensuite par adjonction d'air froid (Brouhon) .
- 5^o - Le réchauffage se fait séparément, d'une part sur l'air pur qui va être carburé et d'autre part sur le mélange explosif formé. (Noël, Le Blon, Koerting, Oberursel) .

Il convient de remarquer que l'adjonction d'air froid pour constituer le mélange peut présenter des inconvénients notables à cause des condensations qui peuvent en résulter.

Il semble qu'un réchauffage modéré, s'exerçant à la fois sur l'air destiné à être carburé, sur l'air destiné à parfaire le mélange et peut-être sur le mélange explosif, répond à une solution satisfaisante du problème.

Quels moyens sont employés pour produire un mélange convenablement homogène. Pour éviter les entraînements de liquide, le brassage du mélange explosif vient compléter l'action de la chaleur en rendant le mélange homogène sans le surchauffer.

Le brassage se fait de diverses manières:

- a) - Par chicanes qui forcent les gaz à changer continuellement de vitesse, de sens et de direction. (Longuemare, Noël, Duplex, Oberursel, Dürr) .
- b) - Par serpentins (Martha, Brouhon) .
- c) - Par division de jets gazeux (Le Blon, Kuhlstein) .
- d) - Par projection des liquides sur des surfaces coniques à

gradino (G. Richard, Gilles-Forest, Martha, Ateliers de Dresde, ...).

Conditions que semble devoir remplir un carburateur pour utiliser l'alcool dénaturé pur dans les moteurs à explosion. Il semble résulter des travaux de M. Sorel d'une part, de ceux de M. Lérissi' et de la Palette, d'autre part, qu'un bon carburateur à alcool destiné aux moteurs fixes doit remplir les conditions suivantes.

1° Gicleur diffuseur à orifices multiples (type Longuemare), les injections étant faites de préférence par un organe commandé par le moteur, le débit variable par le régulateur avec réglage de la quantité de liquide à injecter suivant la composition de celui-ci.

2° Réchauffage préalable d'une part de l'air destiné à être carburé et d'autre part de l'air additionnel destiné à parfaire le mélange. Ce réchauffage doit être modéré et réglable.

3° Brassage du mélange explosif par l'emploi simultané de chicanes ne diminuant pas outre mesure la vitesse des gaz à l'aspiration et de dispositifs divisant les jets gazeux avec vidange pour enlever tout excès de liquide.

4° Emploi simultané de l'alcool et de l'essence, ce dernier combustible utilisé pour les démarrages et les nettoyages en fin de travail.

Recherches de M. A. Brillat

sur une transformation de l'alcool avant son introduction dans un moteur. Avant d'abandonner cette question du carburateur, il convient de signaler certaines recherches de M. A. Brillat sur la transformation, avant son entrée dans le moteur, du mélange de vapeurs d'alcool et d'air formé dans le carburateur.

Comme on l'a vu plus haut, l'alcool éthylique possède la propriété d'être transformé avec la plus grande facilité en une substance beaucoup plus volatile et plus inflammable, sous l'influence de certaines substances appelées substances catalytiques. Cette substance est l'aldéhyde (C^2H^4O) qui bout à 21° tandis que l'alcool bout à 78° .

Si donc l'on introduit dans un cylindre d'un moteur en marche des vapeurs d'alcool après leur transformation en aldéhyde par le principe

indiqué, cet air carboné contenant un produit très inflammable présentera de facilités d'inflammation plus grandes que le mélange simple d'alc et d'air. De plus l'aldéhyde étant très volatil, ne se trouve certainement qu'à l'état de vapeur dans le mélange. ⁽¹⁾

Pour arriver au résultat désiré, il faut que la transformation de l'alcool ait lieu au moyen d'un dispositif très simple, placé entre le carburateur et le cylindre et se fasse d'une manière automatique.

Comme substance catalytique, non seulement la toile de platine remplit le but, mais on arrive à un résultat analogue avec une simple toile de cuivre rouge préalablement recuite au four; toutefois le cuivre rouge a l'inconvénient de se débâter très rapidement.

Comme l'oxydation dégage assez de chaleur pour amener la substance catalytique à la température du rouge sombre, on évite l'explosion prématurée du mélange gazeux avant son entrée dans le cylindre.

1^o - en pratiquant l'oxydation dans un espace très étroit;

2^o - en utilisant le principe des toiles métalliques qui jouent en la circonstance le rôle de substances catalytiques.

Enfin comme dans un moteur en marche l'arrivée du mélange d'air et de vapeur d'alcool ne se fait pas d'une manière continue mais par à-coups, M^e Ceillat a constaté que le catalyseur n'est pas déamorcé.

C'est actuellement l'état de cette question qui, bien qu'à ses débuts, semble donner d'excellents résultats pour le démarrage et l'utilisation de l'alcool dénaturé pur employé comme combustible dans un moteur.

§ 3.

⁽¹⁾ A. Ceillat. - Essai sur l'application de la transformation de l'alcool éthylique en aldéhyde par action catalytique. (Communication faite au Congrès des Applications de l'alcool dénaturé - Décembre 1902).

§ 3. — La construction du Moteur à alcool.⁽¹⁾

Nous venons d'étudier les conditions les plus favorables de formation du mélange combustible d'air et d'alcool dénaturé ou carburé, que l'on doit fournir à un moteur à alcool. Il nous reste à examiner les caractéristiques de la construction d'un tel moteur.

D'après M. L. Leclercq dont la compétence en matière de moteurs à explosion est bien connue, un moteur doit, pour utiliser dans de bonnes conditions un mélange d'air et d'alcool, présenter deux caractéristiques principales :

Course longue et compression forte.

Course longue. 1^o Une course longue, c'est à dire que le rapport entre l'alésage et la course doit être plus élevé qu'avec les moteurs à gaz ou à pétrole ordinaires.

Lors l'essence, certains constructeurs ont préconisé les moteurs carrés, c'est à dire dans lesquels les deux dimensions (alésage et course) sont les mêmes et par suite le rapport égal à 1. Ce rapport ne semble pas convenir pour l'alcool, même carburé à 50%.

En effet, les meilleurs résultats économiques ont été obtenus dans les moteurs qui ont une course allongée et un rapport $\frac{\text{course}}{\text{alésage}}$ élevé.

Dans le moteur Gobron-Prillie comme dans le moteur Bardon, les deux pistons se meuvent dans un même cylindre, vertical dans le premier, horizontal dans le second, l'explosion se faisant au centre de façon à chasser les pistons à l'opposé l'un de l'autre. Dans ces moteurs le rapport de la course à l'alésage varie de 1,75 à 2,20. Or dans diverses expériences, ces moteurs ont nettement montré que leur rendement à l'alcool dénaturé pur était supérieur au rendement des autres systèmes.

(1) L. Leclercq. — Les Moteurs à alcool (Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils - Juillet 1901).

G. Chauveau. — Contribution à la théorie du moteur à alcool. (Congrès des Applications de l'alcool dénaturé. Rapports et Comptes-rendus. Décembre 1902).

Compression forte. 2^e - Quand on étudie la théorie des moteurs à mélange tonnant, on démontre facilement que le rendement va en augmentant quand on accroît la valeur de la compression du mélange introduit dans le moteur.

Cette proposition théorique est vérifiée par l'expérience. Les premiers moteurs à gaz, qui étaient sans compression, consommaient de 2000 à 2500 litres de gaz, d'éclairage par cheval-heure effectif; cette consommation tomba à environ 1000 litres quand Otto introduisit une compression de 2^e,500; enfin depuis ce moment, cette dépense est tombée à 500 litres avec des compressions allant jusqu'à 5 et 6 kilog.

La compression a surtout pour effet de rendre explosibles dans certaines conditions de température des mélanges pauvres en matière combustible qui dans les mêmes conditions ne feraient pas explosion s'ils n'étaient pas comprimés.

On doit donc considérer qu'il y a intérêt à marcher à la compression la plus élevée possible.

On n'est limité dans cette voie, hormis les considérations de réalisation pratique de construction que par la nature du mélange qui ne doit pas s'enflammer de lui-même pendant la compression.

Pour obtenir des compressions très élevées sans avoir à craindre ces explosions prématurées, il est bon de comprimer séparément les éléments du mélange et de ne produire le mélange qu'au moment de l'allumage.

C'est ainsi que dans le moteur Diesel, on comprime l'air jusqu'à une pression de 50 kilog et qu'on produit l'allumage en injectant du pétrole sur cette masse d'air comprimé. Grâce à cette compression énorme, ce moteur peut présenter un rendement de plus de 40%.

Au lieu de comprimer séparément les deux éléments du mélange, on peut éviter leur explosion prématurée pendant la compression, en ajoutant au mélange primitif un gaz, ou une vapeur, convenablement choisie.

La maison Ganz et C^o de Budapesth a reconnu depuis

longtemps l'influence favorable exercée par une injection d'eau pulvérisée pendant la compression.

Nous empruntons au mémoire de M. F. Chauveau les résultats suivants d'un essai d'un moteur Banki.

Moteur Banki de 20 chevaux.

Dimensions du moteur.

Diamètre du cylindre — 250 ^{mm} / _m	}	Longueur de la bielle — 1100 ^{mm} / _m
Course du piston — 400 ^{mm} / _m		Diamètre des deux volants 2500 ^{mm} / _m
Rayon de la manivelle — 200 ^{mm} / _m		Poids de chacun des volants 1100 Kgr.
Durée de l'essai —		2 heures
Nombre de tours par minute —		209, 13
Nombre des admissions —		91, 44
Rapport du nombre des admissions au nombre maximum (104,56) ... % —		87, 44
Température moyenne de l'eau de refroidiss ^e à l'entrée, en centigr. —		14, 40
_____ id. _____ à la sortie, — id. —		40, 60
Dépense d'eau de refroidissement par heure, _____ Kgr. —		357, 60
Température moyenne des gaz d'échappement _____ centigr. —		195, 5
Dépense d'essence par heure _____ Kgr. —		5, 853
Dépense d'eau injectée par heure _____ Kgr. —		28, 346
Rapport de la dépense d'essence à la dépense d'eau _____		$\frac{1}{4, 84}$
Pression maximum pendant la compression. _____ Kgr. —		16, 5
_____ id. _____ la combustion, _____ Kgr. —		45.
Puissance effective en chevaux _____		26, 38
{	Dépense d'essence par cheval-heure effectif. _____ Kgr. —	0, 221
	— id. — d'eau injectée par _____ id. — Kgr. —	1, 075
	— id. — d'eau de refroidissement _____ id. — Kgr. —	13, 55
{	Densité de l'essence _____	0, 7298
	Pouvoir calorifique de l'essence _____ calories-kilog. —	10.179, 5
	Nombre de calories-Kgr. correspondant à la dépense par cheval-heure effectif : 10.179, 5 × 0, 221 _____	2250

Rendement effectif du moteur $\frac{240.000}{2250 \times 425}$ ————— 28 %
Consommation horaire du brûleur ————— kgr. — 0,190

Il convient de remarquer

1^o - La consommation de 221 grammes soit 0,14316 d'essence, ce qui représente une économie de plus de $\frac{1}{2}$ sur les moteurs courants.

Cette consommation correspond à 2250 calories par cheval-heure effectif, (soit moins de 500 litres de gaz d'éclairage) et à un rendement de 28%.

2^o - La faible dépense d'eau de circulation, moins de 14 litres par cheval-heure effectif.

Cette eau de circulation ne sert qu'à 50^e cent.

3^o - La température des gaz de l'échappement qui n'est que de 196^e cent.

Tout ceci est dû à l'énorme compression de 16,5 et à la pression explosive de 45 kilog.

On voit quelle est l'influence de l'injection, d'un peu plus de 1 kgr. d'eau par cheval-heure effectif.

Remarque.

Il me semble que le rôle de la vapeur d'eau n'est pas seulement celui d'un gaz inerte, qui retarde le point d'explosion spontanée du mélange introduit dans le moteur et qui, pendant la détente, ajoute son effet à celui des gaz brûlés. Il est possible, comme le montrent les expériences de M. Ceillat, que cette eau agit pour favoriser la propagation de l'explosion dans l'ensemble du mélange courant; cette explosion se produit par là même pendant un temps plus court, circonstance que nous devons être favorable au rendement.

Nous venons d'étudier ce qui se passe quand on injecte de l'eau dans un moteur à essence.

Moteur à alcool comparé au moteur à essence dans lequel on injecte de l'eau. Cette action favorable de l'eau doit se produire quand on remplace l'essence par de l'alcool. On obtient en effet un meilleur rendement avec l'alcool à 90^e qu'avec l'alcool à 95^e; d'autre part les alcools allemands à 86^e semblent donner de meilleurs résultats que les

alcool français à 90°.

Il semble donc que, si l'alcool à 90° est indispensable pour le fonctionnement des lampes et des réchauds, l'alcool à un degré moins élevé donne de meilleurs résultats dans les moteurs.

D'un autre côté, pour un même moteur fonctionnant dans les mêmes conditions, la température moyenne des gaz de l'échappement est plus petite avec l'alcool qu'avec l'essence.

Ceci résulte nettement des résultats suivants des expériences de M. J. Chauveau.

Expériences de M. J. Chauveau (1901).

Températures moyennes des gaz dans le tuyau d'échappement.
Carburateur Longuemare. Moteur Charbon dans lequel la compression peut varier de 2,2 kil. à 4,5 kil. suivant la charge.

Charge du moteur	Combustible				
	Essence de pétrole	alcool à 95°	alcool carburé		
			75% d'alcool	50% d'alcool	25% d'alcool
à vide	439°	347°	345°	"	"
à charge partielle.	"	341°	352°	383°	392°
à pleine charge.	> 460°	"	"	398°	"

Le moteur à alcool se rapproche donc, à ce point de vue, du moteur Banki, sans lequel nous avons vu que les gaz d'échappement étaient à une température exceptionnellement basse.

D'ailleurs, certains ingénieurs, comme M. L. Lévisse, ont remarqué que, d'une façon générale l'échappement des moteurs à alcool munis d'un bon carburateur, ne présente pas la trainée d'étincelles que l'on constate très fréquemment avec les moteurs à pétrole lourd et aussi quelquefois avec les moteurs à essence.

Fonctionnement Il semble donc qu'à l'exemple de ce qui se passe dans le moteur du moteur à alcool Banki, à l'intérieur d'un moteur à alcool, les transformations s'effectuent à en allure froide! une température beaucoup moins élevée dans le moteur à alcool que dans le moteur à essence (sans injection d'eau), les deux moteurs fonctionnant dans des conditions aussi comparables que possible.

On exprime ce fait en disant que le moteur à alcool fonctionne en allure froide.

Rendement du moteur à alcool Prenons les résultats obtenus au dernier concours de comparé au rendement l'alcool (Mai 1902) et considérons les trois types de moteurs des autres moteurs. ayant fourni les meilleurs résultats.

I - Moteur de la Société de Winterthür - 5 chevaux à 230 tours.
326 gr. d'alcool carburé à 50% par cheval-heure effectif. Rendement — 23 %

479 gr. d'alcool à 90° par cheval-heure effectif Rendement — 21 %

II - Moteur Duvon de 8 chevaux à 180 tours.

337 gr. d'alcool carburé à 50% par cheval-heure effectif. Rendement — 22 %

440 gr. d'alcool à 90° par cheval-heure effectif. Rendement — 24 %

III - Moteur Brouhot de 16 chevaux à 180 tours.

233 gr. d'alcool carburé à 50% par cheval-heure effectif. Rendement — 32 %

340 gr. d'alcool à 90° par cheval-heure effectif. Rendement — 38 %.

On voit donc :

1° - Que le rendement à l'alcool carburé est inférieur au rendement à l'alcool à 90°;

2° - Que le rendement avec l'alcool à 90° peut atteindre jusqu'à 38%.

Le moteur à alcool dénaturé a un rendement supérieur à tous les autres moteurs à combustion interne à volume constant.

Si nous considérons en effet les meilleurs rendements obtenus

d'une façon normale, nous trouvons :

Gas pauvre ou gaz d'éclairage	24 %
Essence ou pétrole purs.	20 %
Essence hydratée (Moteur Banki)	28 %
Alcool carburé 50%	33 %
Alcool dénaturé 90%	38 %

Nous pouvons donc, avec M^r G. Chauveau énoncer les lois suivantes.

Lois de M^r G. Chauveau.⁽¹⁾ 1^o Les moteurs thermiques à combustion interne ont, toutes choses égales d'ailleurs, un rendement thermique d'autant plus élevé que les opérations internes se passent à température plus basse; c'est à dire en allure plus froide, cette allure refroidie diminuant les pertes par parois et permettant l'augmentation favorable de la compression.

2^o - Une allure refroidie peut être obtenue dans un moteur avec un mélange combustible quelconque grâce à la présence dans le cylindre avant la combustion, d'eau en proportion et sous forme convenables.

3^o - Le moteur à alcool alimenté par un liquide hydraté marche en allure refroidie et a par suite un rendement élevé.

Conclusion.

⁽¹⁾ G. Chauveau. — Contribution à la théorie du moteur à alcool.

Conclusion.

Je m'arrête ici, Messieurs, dans les leçons de cette année. Mais avant de vous donner rendez-vous pour l'année prochaine, permettez-moi de vous rappeler brièvement ce qui est actuellement le moteur à essence employé en automobile. Pour me limiter, je ne considérerai que le moteur employé sur les voitures de course, sur ces formidables engins que dans quelques jours vous verrez exposés sur la place des Quinconces après cette vertigineuse randonnée que sera Paris-Bordeaux, premier acte de la grande manifestation sportive de Paris-Madrid.

Moteur à quatre temps.

Le moteur à essence de la voiture de course est le plus souvent le moteur classique à quatre temps, composé de quatre cylindres. Les explosions sont croisées de telle sorte que l'un des cylindres fournisse toujours une course motrice. Cependant nous verrons des voitures à deux et trois cylindres et même une voiture à huit cylindres engagée par la maison Charron, Girardot et Voigt.

Puissance des moteurs à essence actionnant les voitures de course.

La puissance de ces moteurs va en croissant rapidement. Alors qu'en 1894 et en 1895 on avait des moteurs de 4 chevaux sur les voitures qui ont fait Paris-Rouen et Paris-Bordeaux, nous voyons cette puissance passer :

en 1896	dans Paris-Marseille	à 6 chevaux,
en 1898	— Paris-Amsterdam	à 12 — id. —,
en 1899	— Paris-Bordeaux	à 16 — id. —,
en 1901	— Paris-Berlin	à 30 — id. —,
en 1902	— Paris-Pièrre	à 40 — id. —,

Nous trouverons en 1903 dans Paris-Madrid des moteurs de 60 chevaux et même de 100 chevaux. La maison Gobron-Brillié doit engager une voiture mue par un moteur de 100 chevaux. Ce moteur est à quatre cylindres (huit pistons équilibrés); son alésage est de 0^m,130, sa course de 0^m,210; la compression y atteint 12 kilog. Le poids du moteur

n'est que de 360 kgr., ce qui fait 3^k,6 par cheval; d'ailleurs le poids de la voiture ne devant pas dépasser 1000 kilog., cela fait au maximum 10 kilog. par rapport au poids de la voiture. Nous sommes loin des 250 kgr. par cheval que pesaient les voitures engagées en 1894 dans Paris-Rouen ou des 185 kgr. qu'elles pesaient dans la fameuse course de 1895 entre Paris et Bordeaux. Alors qu'au début ce moteur de course battait 600 à 700 coups à la minute, il tend aujourd'hui vers 1200.

Le carburateur.

Dans le moteur à essence, à mélange tonnant, on emploie un mélange d'air et de vapeur d'hydrocarbure qu'on comprime au préalable de manière à le rendre éminemment explosif. L'appareil employé pour obtenir un mélange convenable d'air et d'hydrocarbure est le carburateur.

On n'emploie aujourd'hui que le carburateur à pulvérisation soit sous la forme de gicleur soit sous la forme de distributeur mécanique. Cet appareil doit d'ailleurs être construit de façon à régler suivant la vitesse la proportion d'air à mélanger avec l'essence. Dans quelques types cette fonction est dévolue au régulateur même du moteur; il est préférable, comme nous l'avons montré en étudiant le carburateur Keels, de la confier au moteur lui-même qui en produisant dans le carburateur une moins grande dépression, règle l'arrivée supplémentaire de l'air.

Le mélange formé dans le carburateur est aspiré dans le cylindre par le piston, après l'expulsion des produits de l'explosion précédente. Après compression de ce mélange tonnant par le retour du piston, il faut le faire exploser.

Allumage électrique.

Cet allumage se fait toujours par l'étincelle électrique.

Cette étincelle qui doit être suffisamment chaude peut être soit une étincelle dite d'induction, soit une étincelle d'extra-courant de rupture.

Dans le premier cas, cette étincelle éclate dans la chambre de combustion entre deux conducteurs isolés l'un de l'autre par de la porcelaine; c'est la bougie d'allumage. Ces deux conducteurs sont reliés aux deux pôles

du secondaire d'une bobine de Ruhmkorff dont le primaire est alimenté par une batterie de piles ou d'accumulateurs.

Cette étincelle n'éclate pas lorsque, entre les conducteurs contenus dans la chambre de combustion du moteur, s'est produit, par suite de la décomposition des gouttes d'huile projetées dans la marche, un dépôt de charbon conducteur. Mais on peut éviter les ratés provenant de cet encrassement de la bougie en produisant une interruption du circuit secondaire; cette simple interruption supprime en grande partie la panne d'allumage et l'emploi de cet artifice se généralise de plus en plus.

Lorsque le moteur comprend quatre cylindres dans lesquels l'étincelle d'induction doit éclater à divers instants du fonctionnement de ce moteur, il semble qu'il soit nécessaire d'employer quatre bobines d'induction, ce qui conduit à une complication source de nombreuses pannes. Il n'en est rien; divers dispositifs permettent, quel que soit le nombre des cylindres, de n'employer qu'une seule bobine. Nous avons donné un type de ces dispositifs à propos du moteur à 5 cylindres de la maison Charbon, Girardot et Poigt.

L'emploi de l'étincelle produite par le courant secondaire de la bobine d'induction nécessite un isolement très soigné des fils qui amènent le courant à la bougie d'allumage. D'autre part la bobine avec son trembleur, les piles ou les accumulateurs sont des appareils qu'il est difficile de conserver en excellent état sur des voitures soumises à tous les accidents de la route.

Aussi l'allumage par étincelle d'extra-courant de rupture est-il de plus en plus en faveur. Cette étincelle se produit entre deux conducteurs qui, dans la chambre du moteur, s'écartent brusquement l'un de l'autre. Le courant dont la rupture donne naissance à cette étincelle est produit soit par une dynamo comme dans les voitures Panhard, soit par une magnéto comme dans les voitures Mercedes. Les fameuses voitures Mercedes, construites par les usines Daimler de Cannstatt, sont munies d'une magnéto spéciale du type Simms-Bosch, dans laquelle le courant

Refroidissement
du moteur?

est produit par une masse de fer douce de forme convenable qui tourne entre l'inducteur et l'induit fixes d'une magnéto ordinaire.

Par le fait même de la haute température produite par l'explosion, le moteur s'échauffe. Ceci a pour inconvénient le plus grave, l'empêcher la lubrification du piston, de produire des grippements et de brûler la soupape d'échappement.

Le refroidissement par circulation d'eau autour du cylindre du moteur est le plus répandu. Cette circulation peut être produite par simple différence de densité; c'est le système du thermo-siphon; elle peut aussi être obtenue au moyen d'une pompe. Les partisans de la pompe reprochent au thermo-siphon une vitesse de circulation d'eau trop faible, la nécessité de grosses tuyauteries pour diminuer les pertes de charge et la mise en charge du réservoir sur le moteur; ils prétendent que le thermo-siphon n'est applicable qu'à de petits moteurs monocylindriques et tournant assez lentement. Cependant il convient de remarquer que la voiture légère Renault, qui a gagné Paris-Tienne en 1902, était munie d'un moteur à refroidissement par thermo-siphon.

Cependant le mode de circulation d'eau par pompe est le plus en faveur et parmi les types de pompes, les pompes centrifuges sont beaucoup plus nombreuses que les pompes à engrenages et les pompes à palette.

Quel que soit d'ailleurs le mode de circulation adopté, il faut que l'eau qui circule autour du moteur soit maintenue à une température d'environ 75 à 80° oscillant assez peu autour de cette moyenne afin d'éviter des grippages ou tout au moins un mauvais fonctionnement du moteur.

Avant d'être renvoyée au réservoir d'où la pompe l'amène au moteur, l'eau doit être refroidie. Ce refroidissement peut être obtenu en faisant passer cette eau soit dans une sorte de serpentín muni d'ailettes pour augmenter le contact avec l'air refroidissant, soit dans une sorte

de petite chaudière multitubulaire munie de tubes à l'intérieur, desquels circule l'air extérieur. Ces refroidisseurs multitubulaires ont l'avantage de n'exiger qu'une petite quantité d'eau de refroidissement, de 5 à 8 litres pour une voiture de 40 chevaux Mercedes dont le refroidisseur comprend 5800 tubes. Le renouvellement de l'air réfrigérant autour des ailettes ou à l'intérieur des tubes du radiateur est obtenu au moyen de ventilateurs mis en mouvement par le moteur lui-même.

Distribution.

L'élasticité du moteur à essence que l'on construit actuellement pour les automobiles a pour conséquence la diminution du nombre de ces organes intermédiaires de multiplication qui absorbent une si grande puissance. Aujourd'hui toutes les voitures de course sont en prise directe en troisième ou quatrième vitesse, l'arbre du cardan longitudinal ou la commande de l'arbre de chaîne se trouvant à ce moment attaqué directement par l'arbre du moteur ou par un arbre situé dans son prolongement. Il convient même de citer la voiture Paris-Madrid Charron Girardot et Doin à huit cylindres, qui ne comporte que deux vitesses dont la première servira pour le démarrage.

Cette élasticité du moteur est le résultat des perfectionnements que l'on a apportés dans la régulation. Autrefois le seul procédé de régulation adopté était le Tout ou Rien qui présente de graves inconvénients au point de vue des efforts violents imprimés à la voiture au moment où le moteur repart. Aujourd'hui, on préfère régler par modification progressive du pouvoir moteur. Cette régulation progressive a été pendant longtemps obtenue par l'étranglement plus ou moins complet de la conduite d'accès de l'air carburé. Ce mode de régulation présente l'inconvénient de modifier le régime des explosions en faisant varier la compression et d'être défavorable au fonctionnement régulier du carburateur. Auon depuis quelque temps plusieurs constructeurs, revenant peut-être sans s'en douter aux idées de Harting, emploient la régulation progressive produite par

L'ouverture graduée de la soupape d'échappement soit en durée, soit en section.

L'accroissement du nombre de chevaux à fournir par chaque cylindre du moteur a conduit les constructeurs à augmenter soit la course soit le diamètre des soupapes d'admission et d'échappement. Le mode de fonctionnement du moteur exige la commande mécanique des soupapes d'échappement. La nécessité d'augmenter le diamètre plutôt que la course des soupapes d'admission a forcé les constructeurs soit à multiplier le nombre des soupapes automatiques, soit à remplacer la soupape automatique par la soupape commandée mécaniquement. Ce dispositif inauguré sur les Mécédès présente l'avantage de rendre interchangeables les soupapes d'admission et d'échappement; il accroît en même temps le rendement du moteur et le rend plus silencieux. La plus grande partie des voitures Paris-Madrid sont munies de soupapes commandées.

Telles sont les principales caractéristiques du moteur à essence appliqué à la voiture de course. Je ne puis, dans un résumé aussi bref, vous exposer les modes de construction des voitures qui sont actionnées par ces moteurs. Cependant je ne veux pas terminer ces leçons sans vous donner la raison d'être des formes extérieures parfois bizarres qui vous frapperont à la seule inspection des voitures que vous aurez dans quelques jours l'occasion d'examiner.

La résistance de l'air

et la forme extérieure

des voitures de course.

Tant que la vitesse des automobiles de course ne dépasse pas 40 à 50 kilomètres à l'heure, il est un facteur dont l'importance n'entre pas en ligne de compte; ce facteur, c'est la résistance de l'air. Mais du moment où l'on cherche à atteindre des vitesses de plus de 100 kilomètres, cette résistance qui croît au moins comme le carré de la vitesse, devient un facteur dont l'importance est comparable aux déclivités de la route. Les constructeurs ont d'abord cherché à vaincre cette résistance en augmentant la puissance des moteurs. Mais malgré tous les artifices employés, une augmentation de la

puissance des moteurs est corrélatrice d'un accroissement de poids; or les organisateurs de course ont, avec raison et pour éviter l'emploi de monstres dont le poids écraserait les routes, limité à 1000 kgr. le poids en ordre de marche des automobiles de course. On a donc rapidement atteint la limite du poids et par suite la limite de la puissance. C'est alors qu'on a songé à diminuer l'effort résistant dû à l'air en donnant aux automobiles de course une forme convenable.

La première idée a été de placer un coupe-vent à l'avant de la voiture. Mais l'effet de ce coupe-vent, bien que diminuant beaucoup la résistance est encore insuffisant si l'on ne prend soin de supprimer sur les côtés de la voiture tous les organes susceptibles d'entraîner les masses d'air et de produire des remous qui sont une des causes importantes de la résistance opposée au mouvement de la voiture. On sait en effet que les yachts de course sont, quelques jours avant les épreuves, soigneusement grattés et repeints afin d'éviter toute aspérité pouvant par l'entraînement de l'eau retarder la marche du navire. De là cette idée de donner aux automobiles de course des formes fusantes que l'on voit apparaître pour la première fois en 1899 dans le fameux duel de vitesse entre M. M. de Chasseloup-Laubat et Jenatton, sorte de cigare parfait et bas qui la première, grâce à ce dispositif, les 100 km. à l'heure).

C'est qu'en effet, bien qu'à première vue, cette proposition puisse paraître paradoxale, il est préférable d'avoir un coupe-vent à l'arrière plutôt qu'à l'avant.

La conformation même des animaux aquatiques dont la tête est obtuse et la queue effilée montre combien cette disposition est favorable au mouvement d'un solide dans un fluide. En immergeant dans l'eau des solides dont l'une des extrémités est obtuse et l'autre effilée, on peut

voir qu'il y a grand avantage à ce que la grosse extrémité se présente la première; il y a, de cette façon, beaucoup moins de remous à l'arrière. Le cuirassé "le Kléber", construit à Bordeaux, présente un arrière tellement effilé qu'on peut à peine le distinguer de l'avant.

Il en est de même quand on opère dans l'air, M^r Marey⁽¹⁾ a montré par la chronophotographie qu'avec la grosse extrémité tournée en avant, les corps laissent derrière eux un sillage de remous moins large, et de ce fait éprouvent moins de résistance de la part du fluide dans lequel ils se meuvent.

C'est là l'origine des formes actuelles des automobiles de course. La forme la plus logique et la mieux étudiée, à ce point de vue est celle du torpilleur Sempollet dont la carrosserie est en forme de coque de croiseur renversée. De plus, pour éviter encore plus complètement les remous dont je vous parlais tout à l'heure, les rayons des roues sont supprimés et remplacés par un disque plein. C'est avec cet engin, et le mot je crois ici n'est pas trop fort, que M^r Sempollet a gagné, au mois d'Avril dernier, la première Coupe Henri Rothschild en parcourant le kilomètre lancé (600 mètres de lancée) à une vitesse de 123 km, 300 à l'heure, ce qui fait un temps de 29,19 secondes pour parcourir une telle distance.⁽²⁾

Note additionnelle

du 27 Mai 1903.

Cette vitesse vient d'ailleurs d'être dépassée dans la première étape (Laris - Bordeaux) de cette malheureuse course Laris - Madrid qui s'annonçait sous des auspices si brillants et qui vient d'être si terriblement interrompue par des accidents que tous sont unanimes à déplorer. Entre Chartres et Bonneval, M^r Louis Renault, frère de l'une des plus intéressantes victimes de cette course (M^r Marcel Renault, vainqueur de Laris - Vienna) a pu atteindre la

⁽¹⁾ Marey. — Le mouvement de l'air étudié par la chronophotographie (Société de Physique - 17 Janvier 1902. Bulletin des Séances - 1^{er} fascicule).

⁽²⁾ Dimensions de la voiture Sempollet. — Poids de la voiture : 850 kgs. — Longueur de voie : 1^m,40. — Empattement : 2^m,40. — Longueur du châssis : 3^m,45.

vitesse de 143 km. à l'heure, soit environ 39 mètres par seconde; d'ailleurs, — la voiture légère de M. L. Renault, a parcouru l'étape (552 km) en 5^h, 34^m, ce qui fait une moyenne de 99 km. à l'heure.

Un meilleur résultat a été obtenu avec une grosse voiture Dors (1000 kgs) conduite par Gabriel; cette voiture dont la carrosserie est de la forme torpilleur adoptée par Serpollet, a parcouru les 552 km. en 5^h, 14^m, ce qui fait une moyenne de 105 km. à l'heure.

C'est là pour l'Industrie française un triomphe d'autant plus grand qu'une marque étrangère, qui a d'ailleurs mis en ligne des voitures remarquablement construites, avait fait les plus grands efforts pour obtenir la première place. Malheureusement ce triomphe est acheté trop chèrement et Paris-Bordeaux 1903 est probablement la dernière randonnée sur les routes ordinaires après avoir été la première en cette mémorable année 1895, qui marque l'origine du merveilleux essor de l'Industrie automobile.

Il convient d'ajouter que, pour la première fois depuis le raid remarquable accompli au début des courses par M. Pottée du Mans, la vapeur représentée par Serpollet a pu tenir tête au pétrole et accomplir l'étape en des temps variant entre 6^h, 44^m (Le Blon - 1^{re} voiture Serpollet arrivée) et 14^h, 58 (Lillie - 6^{me} des voitures Serpollet arrivées au contrôle en moins de 24 heures).

Quant à l'alcool, il a été représenté par la voiture de 100 chevaux Gobron-Brillie, dont nous avons parlé plus haut et qui a parcouru les 552 km. en 7^h, 43^m, ce qui fait encore en moyenne 74 km. à l'heure.

Constatons enfin que l'Industrie bordelaise ne s'est pas montrée inférieure aux industries parisiennes et étrangères; alors qu'à peine une centaine de voitures sur les 250 parties de Paris sont arrivées au contrôle de Bordeaux, l'usine bordelaise Motobloc, qui avait engagé 3 voitures légères de 12 chevaux, a vu ses trois voitures parvenir à l'étape dans un excellent état de conservation; l'une d'elles a même fait le parcours en 9^h, 39^m, ce qui fait en moyenne du 57 km. à l'heure.

Je termine, Messieurs, sur ces chiffres qui vous donneront l'impression que la voiture automobile est parvenue actuellement à une limite de puissance et de vitesse, à une perfection de construction qu'il sera, je crois, bien difficile de dépasser. Il vous semblera, comme à moi, que la voiture de course de grande vitesse s'écarte de plus en plus d'être une voiture pratique et qu'il est grand temps de revenir à la voiture de tourisme simple, solide, capable de parcourir toutes les routes et surtout susceptible d'offrir un bon confort.

Il me reste, Messieurs, un devoir très agréable à remplir, celui de vous remercier de la sympathie dont vous m'avez donné les preuves en venant si nombreux dans cet amphithéâtre, assister à des descriptions et à des démonstrations souvent arides. Malgré vos occupations professionnelles vous m'avez encouragé de votre présence et vous m'avez montré, comme les années précédentes, quel intérêt vous portiez à l'œuvre que j'ai entreprise, de faire un cours de physique industrielle assez élevé pour être digne du corps auquel j'ai l'honneur d'appartenir.

Laissez-moi vous témoigner ma reconnaissance en priant l'un de mes plus sympathiques auditeurs, M^e Elavel, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, de vouloir bien accepter l'hommage de ces leçons; vous applaudirez certainement à ce choix car je sais quelle amitié lui vouent toutes les personnes qui ont le plaisir et l'honneur d'être en relations avec lui. Je n'oublierai pas non plus mon aimable collaborateur, M^e Didal, qui est toujours pour moi un conseiller précieux et très écouté; c'est à son active collaboration que vous devez ces feuilles dont la correction hebdomadaire constitue une tâche dont je suis apprécier toute l'ingratitude.

Ouvrages consultés

- Aucamus et Galine *Tramways et Automobiles* (Paris - Dunod - 1900)
- Baudry de Saunier *L'Automobile théorique et pratique* (Chez l'auteur, rue Lauriston 108. Paris)
Les Recettes du Chauffeur (Paris - Dunod)
Éléments d'Automobile (Paris - Dunod)
- Norby Beaumont. *Motor Vehicles and Motors.* (2^{me} édition - Westminster - Archibald Constable and Co. limited)
- Roche *Les Automobiles à pétrole* (Paris - Dunod)
- Dalby *The Balancing of Engines.* (London - Edward Arnold - 1902)
- Farman *Manuel pratique du Constructeur d'Automobiles à pétrole* (Paris - Bernard-Lignol)
- Gobiet *Les Moteurs à pétrole* (Paris - Dunod)
- Hiscox *Horseless Vehicles* (London - Sampson, Low and Marston - 1900)
- Knap *Guide de conduite, réglage et entretien des motocyclettes.* (Paris Desforges. 1903)
- Laveigne *Manuel théorique et pratique de l'Automobile sur Route* (Paris Ch. Béranger. 1900)
- Lordier *Combustibles industriels* (Paris - Dunod - 1903.)
- Lorenz *Dynamik der Kurbelgetriebe* (Leipzig - Kuebel - 1901)
- Marchesi *L'Automobile* (Torino - Lattes - 1902)
- Mauri (de) *Les bandages pneumatiques et la résistance au roulement* (Paris Dunod)
- Moreau *Les Moteurs à explosion* (Paris - Ch. Béranger - 1900)
Théorie des Moteurs à gaz (Paris - Ch. Béranger - 1902)
- Piazzoli *Installations d'Éclairage électrique.* (Paris - Ch. Béranger - 1902)
- W. Vogel *Schule des Automobil - Fahrers* (Berlin - G. Schmidt - 1902)
- Witz *Traité théorique et pratique des Moteurs à gaz - Tome III -* (Paris - Bernard - 1899)
- Ringelmann *Les Moteurs thermiques* (Paris - Dunod)
- Rapports présentés au Congrès International d'Automobilisme du 9 au 16 Juillet 1900* (Paris - Kemmerlé - 1903).
- Revue spéciale d'Automobile :*
- La Locomotion.* (Paris - Dunod.)
- Les petites Annales illustrées du Cycle et de l'Automobile.*
- La Locomotion Automobile.*

Bibliographie spéciale de l'alcool

- Arachequesne *Emplois industriels de l'Alcool* (Paris. Librairie de la Bourse de Commerce).
- Beauvais *De l'emploi industriel de l'Alcool* (_____ id. _____)
- Centrale für Spiritus - Verwertung (Berlin. Neue Friedrichstrasse 38-40)
- I - Ihre Bestrebungen zur Hebung des Verbrauches von denaturiertem Spiritus in wirtschaftlicher und technischer Beziehung.
- II - Jahresbericht für das Geschäftsjahr vom 1 Oktober 1901 bis 30 September 1902.
- III - Haben unsere Bestrebungen für die Ausdehnung des Verbrauches von denaturiertem Spiritus Aussicht auf Erfolg?
- Congrès des Applications de l'Alcool dénaturé (16 au 23 Décembre 1902)
- Rapports et Comptes-rendus (Paris - Automobile-Club de France - 1903)
- Concours général de Moteurs et Appareils utilisant l'alcool dénaturé (16 Novembre 1901).
- Rapports des Jurys (Paris - Ministère de l'Agriculture 1902).
- Concours international de Moteurs et Appareils utilisant l'alcool dénaturé (Mai 1902).
- Rapports des Jurys (Paris - Ministère de l'Agriculture 1902).
- Congrès des Etudes Economiques pour les emplois industriels de l'Alcool.
- Rapports présentés au Congrès (Paris - Ministère de l'Agriculture - 1903).
- L. Létissé. *Les Moteurs à alcool* (Paris - Dunod - 1901).
- Siderski *Comptes-rendus du Congrès des emplois industriels de l'alcool.* (18 Novembre 1901).
- Siderski *Rapport sur l'Exposition des emplois industriels de l'alcool à Berlin en Février 1902.*
(Annales du Ministère de l'Agriculture - 1902 - N° 2).
- J. Defays et H. Lillet *Etude pratique sur les différents systèmes d'Eclairage.*
(Paris - Gauthier-Villars - Encyclopédie Léauté).
- G. Coupan *Moteurs à explosion et plus spécialement Moteurs à alcool*
(Bulletin de la Société des Agriculteurs de France - 34^{me} année - Nouvelle série - 1902)
- L. Truchot. *L'Eclairage à Incandescence* (Paris - Carré et Naud.).
-

Plumex

Annexe I.

Eclairage à l'alcool.

Résultats du Concours International de Mai 1902, tenu à Paris à la Galerie des Machines, et de l'Exposition de Montpellier (11-19 Octobre 1902).

Essais de M. Laporte, Sous-Directeur du Laboratoire Central d'Electricité.

[Lindet - Eclairage et le chauffage par l'alcool au Concours International de 1902.
Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale. - T. 103. - 31 Août 1902.
Ministère de l'Agriculture - Concours International des Moteurs et appareils utilisant l'alcool dénaturé, ayant eu lieu à Paris en Mai 1902. - Rapports des Jurys.]

I - Lampes sans gazéification

	Intensité du bec	Par heure :			
		Consommation du bec	Dépense du bec	Consommation # bougie-heure	
	(bougies)	(centim ³)	(centimes)	(Centim. cuber-)	
Lampes domestiques à mèche (alcool carboné)	à 35% Société d'Alkolumine	8	80	"	10,0
	à 50% Pilleminot	20	108	"	5,4
	à 40% Blondel et Kincelin	13	94	"	7,2
	à 40% id.	16	117	"	7,3
	à 54% Roy	12	103	"	8,6
	à 35% Société des becs Juhle	7	62	"	8,9
Lampes domestiques à mèche et à manchon (alcool dénaturé)	Schuster et Baer	15	81	3,2 ⁽¹⁾	5,4
	id.	37	126	5,0	3,4
	id.	46	147	5,9	3,2
	Ehrich et Gractz	42	139	5,6	3,3
	Société française d'incandescence	27	119	4,8	4,4
	Meyer, Kopp et C ^{ie}	28	126	5,0	4,5
Liair	8	50	2,2	6,3	

(1) Le litre d'alcool dénaturé compte à 0,40.

II - Lampes avec gazéification

II (a) - Usages domestiques (Alcool dénaturé)

	Intensité du bec	Par heure			
		Consommation du bec	Dépense du bec	Consommation par $\frac{1}{2}$ bougie-heure	
	(bougies)	(centim. cubes)	(centimes)	(centim. cubes)	
Alcool gazéifié par veilleuse permanente	Société Continentale Bec bécote N°1	52	151	6,0	2,9
	id. id. N°1	62	141	5,6	2,3
	id. id. N°2	31	66	2,6	2,1
	id. id. N°2	27	55	2,2	2,0
	Société des lampes Regina	26	91	3,6	3,5
	Delue	29	118	4,7	4,1
	Hubert	75	150	6,0	2,0
	Gouverneur	50	111	4,4	2,2
	id.	53	108	4,3	2,0
	Schuster et Baer	15	81	3,2	5,4
	id.	37	126	5,0	3,4
	id.	38	97	3,9	2,6
	id.	46	147	5,9	3,2
	Gauteau	12	117	2,8	5,8
	id.	36	109	4,4	3,0
Alcool gazéifié par flamme dérivée.	Société nationale d'incandescence	27	97	3,9	3,6
	id.	32	102	4,1	3,2
	Lasmantier	27	108	4,3	4,0
	Müller	24	111	4,4	4,6
	id.	51	149	6,0	2,9
Alcool gazéifié par la chaleur de la flamme.	Chaubard	35	166	6,6	4,4
	Erlanger	21	113	4,5	5,4
	Schuchardt	61	225	9,0	3,7
	Société des lampes Regina (nouvelle)	48	119	4,8	2,5
	Société continentale. Bec 1900	61	212	8,5	3,5
Siripion	26	96	3,8	3,7	
Cavaud	33	105	4,2	3,2	
Boivin	33	120	4,8	3,7	

II (a) - Usages domestiques (Alcool dénaturé) [Suite]

	Intensité du bec	Par heure.			
		Consommation du bec	Dépense du bec	Consommation p ^r bougie-heure	
		(centim. cubes)	(Centimes)	(Centim. cubes)	
Alcool garéifié par récupération	Compagnie générale de l'alcool	21	50	2,0	2,4
	— id. —	35	103	4,1	2,9
	— id. —	37	135	5,5	3,7
	Descamps et C ^{ie}	25	70	2,8	2,8
	— id. —	59	138	5,5	2,3
	Laudi	38	128	5,1	3,4
	— id. —	38	109	4,4	2,9
	Hanté	12	55	2,2	4,6
	— id. —	22	53	2,1	2,4
	— id. —	28	69	2,8	2,5
	— id. —	49	117	4,7	2,4
	Elios	60	116	4,6	1,9
	Flauvel	32	84	3,4	2,6
	Roy	34	110	4,4	3,2
	Société française d'incandescence	45	104	4,2	2,3
	Petrus	51	138	5,5	2,7
	Denayrouse (bec alvéolaire)	40	56	2,2	1,4
— id. —	60	77	3,0	1,3	
Gallier	16	44	1,8	2,7	

II (a') - Usages domestiques (Alcool carburé à 50%)

Alcool garéifié par chaleur de la flamme	Roy	43	97	3,9	2,3
	Descamps N ^o 1	40	52	1,1	1,3
Alcool garéifié par récupération	— id. — N ^o 2	51	76	3,0	1,5
	— id. — id. —	70	84	3,4	1,2
	Pollack N ^o 1	44	54	2,2	1,2
	— id. — N ^o 2	50	59	2,4	1,1
	Denayrouse (bec alvéolaire)	86	66	2,6	0,8

II (b) - Eclairage des rues (alcool dénaturé).

	Intensité du bec	Par heure			
		Consommation du bec	Dépense du bec	Consommation p. ^r bougie-heure	
	(bougies)	(Centim. cubes)	(Centimes)	(Centim. cubes)	
Alcool gazéifié par flamme dérivée.	Société des brûleurs Roger	390	624	25,0	1,6
	Société Continentale (Bec 1900)	180	188	7,5	1,6
	Denayrouse	440	501	20,0	1,1
	— id. —	480	541	21,6	1,1
Alcool gazéifié par chaleur de la flamme.	Société Le Washington (Bec Washington)	640	800	32,0	1,2
	— id. — id. —	810	1012	40,5	1,2
	— id. — (Bec Kornfeld)	580	800	32,0	1,4
	Keim (Lampe Schuchardt)	80	153	6,0	1,9
	Delamotte (Lampe Monopole)	52	122	4,9	2,3
	— id. — id. —	66	127	5,1	1,9
Alcool gazéifié par récupération.	Exp ^{te} de l'alcool (Lampe Hélios)	75	142	5,7	1,9
	Blantz	78	122	4,9	1,6
	— id. —	92	202	8,1	2,2
	— id. —	115	161	6,4	1,4
— id. —	120	210	8,4	1,8	

II (b') - Eclairage des rues (alcool carburé à 50%)

Alcool gazéifié par flamme dérivée	Société des brûleurs Roger	230	395	15,8	1,7
	— id. —	430	413	16,5	1,0
	— id. —	615	539	21,6	0,9
Alcool gazéifié par chaleur de la flamme.	Denayrouse	350	294	11,7	0,8
	— id. —	445	290	11,7	0,7
	— id. —	700	529	22,1	0,7
	— id. —	870	565	22,6	0,6
	Société Le Washington (Bec Washington)	610	432	17,3	0,7
	— id. — id. —	1030	655	26,2	0,6
Alcool gazéifié par récupération.	— id. — (Bec Kornfeld)	570	359	14,4	0,6
	Blantz	170	163	6,5	1,0
	— id. —	190	167	6,7	0,9
	— id. —	200	206	8,2	1,0
	— id. —	235	211	8,4	0,9
— id. —	330	257	10,3	0,8	

À la page 133 de ces Leçons, nous avons énoncé un certain nombre de propositions résultant de l'examen des résultats du concours de 1901 (Essais de M^r Couderchon). Ces mêmes propositions se vérifient dans le cas actuel et conduisent aux mêmes conclusions en ce qui concerne l'adoption d'un type de lampes soit pour l'usage domestique soit pour l'éclairage des rues.

En particulier, nous avons indiqué la proposition suivante :
Avec des lampes d'un certain type, alimentées de la même manière, l'éclairage est d'autant plus économique qu'il est plus intense.

M^r Laporte a donné une démonstration élégante de ce principe par une représentation graphique obtenue en portant en abscisses l'intensité lumineuse des lampes domestiques brûlant de l'alcool dénaturé, et en ordonnées la consommation de chacune d'elles (Fig.).

Or si on regarde ce graphique, on voit que les points marquant ces consommations se rapprochent de l'axe des abscisses à mesure que l'intensité lumineuse de la lampe va en augmentant.

Cette manière de représenter graphiquement les résultats permet de se rendre compte très rapidement de la valeur des lampes. En effet, celles dont les points se rapprochent le plus de la ligne des abscisses sont celles dont la consommation est la plus petite. Il suffit de mener une série de parallèles à l'axe des abscisses pour classer ces lampes en différentes catégories et reconnaître que :

3	Becs	ont consommé de 1 gramme à 1 ^{re} ,5 d'alcool dénaturé p. bougie-heure;
10	id.	1 ^{re} ,5 à 2 ^{de} .
14	id.	2 ^{de} à 2 ^{de} ,5
12	id.	2 ^{de} ,5 à 3 ^{de} .
7	id.	3 ^{de} à 3 ^{de} ,5
4	id.	3 ^{de} ,5 à 4 ^{de} .
5	id.	4 ^{de} et au-delà

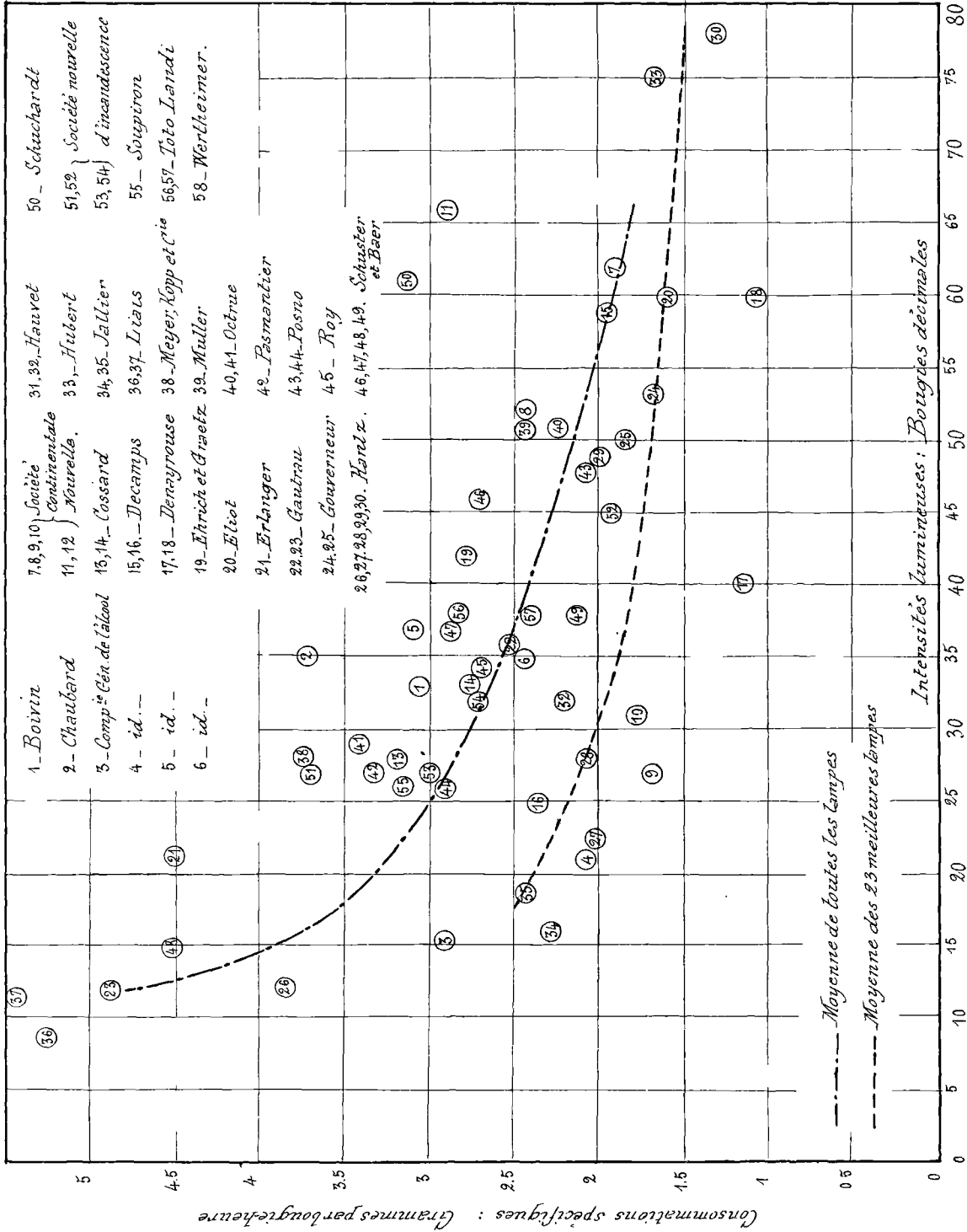


Fig. 1.

Graphique représentant la consommation des lampes domestiques à alcool dénaturé, en fonction de leur intensité lumineuse. (d'après M.E. Laporte)

(Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale - 31 août 1902)

Le concours de 1902 a mis en évidence une diminution considérable dans la consommation de certaines lampes à alcool.

Ainsi les lampes à veilleuse de la Société la Continentale Nouvelle ont été essayées en 1899 (Ringelmann), en 1901 (Couderechon), en 1902 (Laporte). On voit d'après le tableau ci-dessous que le bec Préféré brûle aujourd'hui deux fois moins d'alcool qu'au début.

Diminution dans la consommation par bougie-heure des becs Préférés.

	I		II	
	Intensité en bougies	Consommation par bougie-heure en grammes	Intensité en bougies	Consommation par bougie-heure en grammes.
1899	27, 3	3, 23	31, 4	3, 88
1901	23, 3	2, 30	36, 4	2, 75
1902	27, 0	1, 70	31, 0	1, 77

Les lampes à alcool consommant moins par unité de lumière, dégagent à l'extérieur moins de chaleur et brûlent plus complètement l'alcool avec lequel on les alimente. Il résulte immédiatement de là qu'elles fournissent moins d'aldéhyde (résultant d'une combustion incomplète) et produisent un échauffement moindre des réservoirs contenant l'alcool (à peine 2 à 3 degrés après 6 heures de combustion).

La même diminution de consommation est représentée dans le graphique ci-après, dû à M^e Laporte (Fig. 2). Si on emploie pour tracer la courbe en traits interrompus (---) la moyenne des résultats de M^e Couderechon en 1901 et celle de tous les résultats de M^e Laporte en 1902, on trouve la même courbe. Mais si au lieu d'employer les résultats fournis aux essais par toutes les lampes de 1902, on ne prend que les 23 meilleures lampes on trouve que ces lampes ont, en 1902, un rendement $\frac{\text{Intensité lumineuse}}{\text{consommation par unité de lumière}}$ supérieur à celui des lampes présentées en 1901.

Description de quelques-unes des lampes à gazéification présentées au concours.

Comme nous l'avons dit à la page 122 de ces leçons, on peut classer les lampes suivant le

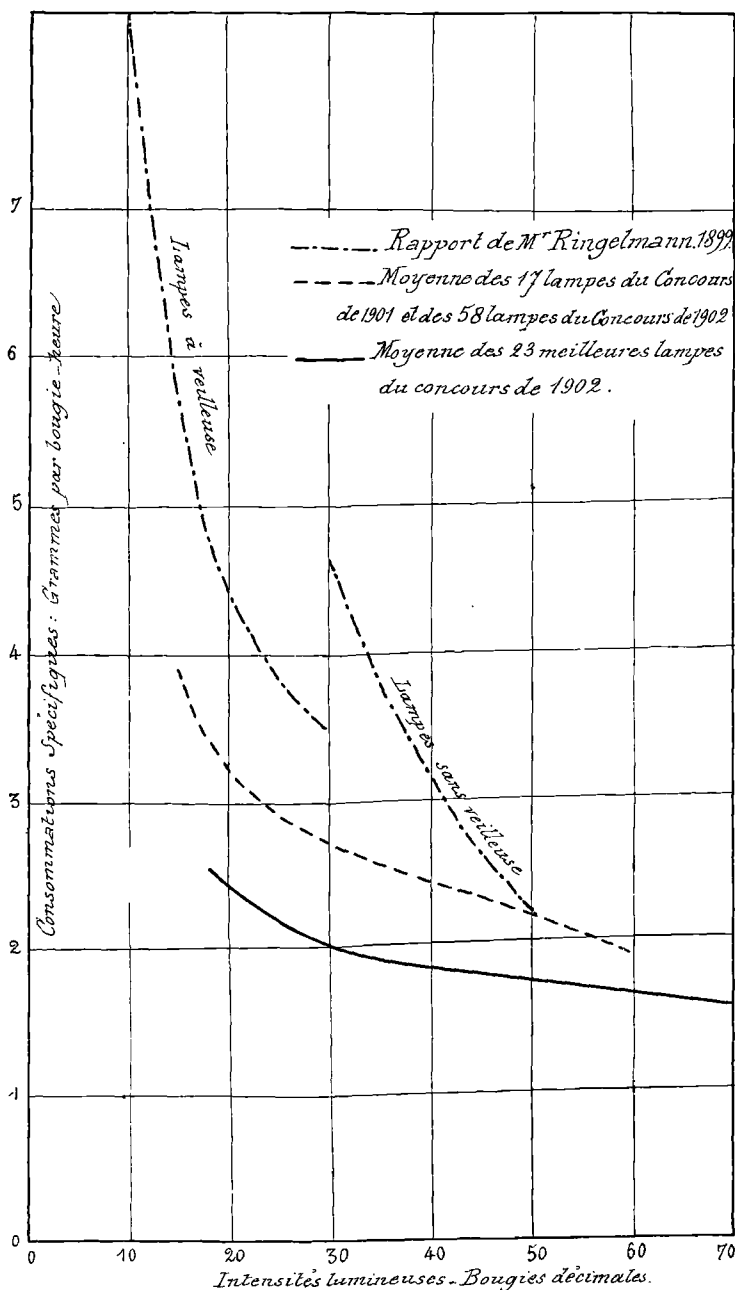


Fig. 2.

Graphique permettant de comparer la consommation des lampes à alcool dénaturé en 1899, 1901 et 1902.

(d'après H. Laporte)

(Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale - 31 Août 1902).

mode d'alimentation du gazificateur et suivant le mode de chauffage de ce gazificateur.

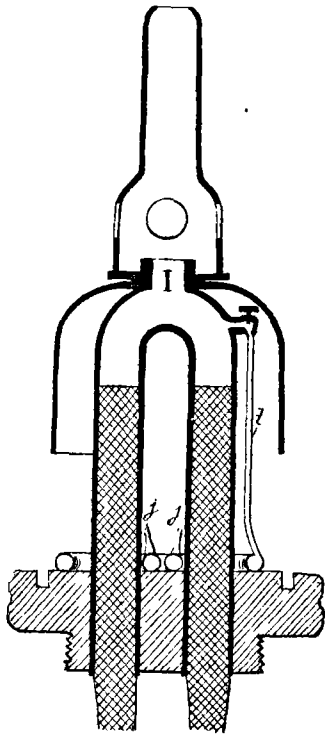
Au concours de 1901, trois lampes seulement appartenaient à la série B, c'est à dire étaient telles que l'alcool était gazifié par une veilleuse permanente; il y en avait 13 au concours de 1902.

Au concours de 1901, toutes les lampes appartenant à la série B', c'est à dire dans lesquelles l'alcool était gazifié par chaleur perdue, étaient telles que cette chaleur perdue provenait de la flamme même du Bunsen; dans aucune d'elles,

la chaleur perdue ne provenait d'une flamme dérivée de la flamme principale. Deux lampes de ce dernier type ont été présentées en 1902, le Bec de la Société des lampes Regina et le brûleur Roger.

Les figures 3 et 4 représentent les schémas de ces deux becs.

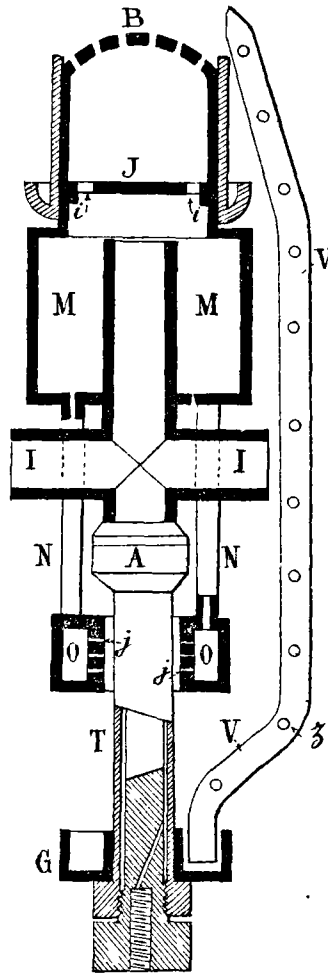
Dans la lampe Regina, l'alcool est amené par une douille en forme



Bec de la Société des lampes Regina.

A mèche avec vaporisation par flamme dérivée.

Fig. 3.



Brûleur Roger.

A pression avec vaporisation par flamme dérivée.

Fig. 4.

T, Tube dans lequel l'alcool se volatilise.

A, Boîte dans laquelle se trouvent des toiles métalliques.

II, Ouvertures par lesquelles arrive l'air.

J, Plaque perforée.

B, Bunsen.

NN, Tubes par lesquels le gaz d'alcool va alimenter la courbe percée des trous *jjj* par lesquels passent les flammes qui chauffent le tube T.

G, Coupelle d'allumage.

V, Tube percé de petits trous *z* et qui sert à l'allumage.

de U renversé dont la partie courbée porte l'injecteur I; les mèches pénètrent jusqu'aux $\frac{2}{3}$ environ de la hauteur de chacune des branches; sur l'une d'elles, à l'endroit même où elle commence à prendre sa courbure, on fixe par brasure un petit tube descendant, qui se recourbe horizontalement pour former une rampe à gaz, qui dirige sur les douilles, vers leur partie inférieure, deux petits jets de gaz d'alcool. jj.

Dans le brûleur Roger d'alcool, poussé dans le tube T, par une pression extérieure, s'y volatilise sous l'influence de la chaleur dégagee par les flammes j, dans l'intérieur du tube T sont disposées des chicaneaux qui ralentissent sa marche et en assurent la gazéification. Le gaz d'alcool filtre à travers une toile métallique fixe, placée dans la boîte A, continue son chemin, se mélange à l'air qui entre par les ouvertures II et rencontre avant d'arriver à l'extrémité du Burner B une plaque J perforée. Cette plaque opère une séparation automatique des vapeurs. Une partie de celles-ci traverse les ouvertures ii et va brûler au Burner; une autre retourne en arrière, se rassemble dans la boîte M descend par les tubes N et alimente la couronne O percée des trous jj. On commence par échauffer l'appareil en brûlant de l'alcool dans la coupelle G; une certaine quantité de cet alcool est entraînée dans le tube V celui-ci est percé de petits trous z, à la sortie desquels l'alcool s'enflamme progressivement, comme le long d'une rampe à gaz et met le feu aux vapeurs qui se dégagent à la partie supérieure du Burner.

Les lampes à alcool

à l'Exposition de Montpellier.

(11-19 octobre 1902).

Après le concours de Mai 1902, organisé par le

Ministère de l'Agriculture à la Galerie des Machines,

la Société Départementale d'Encouragement à l'Agriculture

de l'Hérault organisa à Montpellier une exposition de l'alcool, du 11 au 19 Octobre 1902

Les tableaux qui suivent donnent les résultats des expériences faites par M. C. Colin à la Faculté des Sciences de

Montpellier.⁽¹⁾ Il convient de remarquer que, parmi les caractéristiques des lampes à alcool, on a introduit des renseignements nouveaux touchant le temps nécessaire pour l'allumage, le temps nécessaire pour l'obtention de la pleine lumière, enfin le temps nécessaire pour l'extinction. Or il résulte du tableau des essais qu'entre le moment où la lampe est allumée (c'est-à-dire où une flamme est approchée de l'alcool et celui où le manchon commence à présenter quelques points en ignition) il s'écoule environ une minute; une autre minute est encore nécessaire avant que la pleine lumière ne soit obtenue. Or c'est là une infériorité grave pour les lampes à alcool. En effet le pétrole a accoutumé le public à des allumages rapides; le gaz d'éclairage, l'acétylène, l'électricité surtout l'ont accoutumé à des éclairages instantanés. Et le public ne change pas facilement ses habitudes quand elles sont commodes, même si le léger inconvénient qu'est un allumage retardé est compensé par de sérieux avantages. Il faut donc que l'ingéniosité des constructeurs s'applique à obtenir un allumage plus rapide.

Tableau

(1) Proposition de Montpellier - Rapport sur les Opérations du Jury de l'Eclairage à l'Alcool
(Bulletin de la Société Départementale d'Encouragement à l'Agriculture de l'Hérault - Octobre-Décembre 1912.
p. 368)

Concours de Montpellier (11 au 19 Octobre 1902)

Noms des Exposants	Noms des Becs.	Description sommaire des Becs.	Prix du Bec complet (avec manchon et verre).	Consommation horaire en grammes.	Intensité lumineuse en Bougies-décimales.
E ^{ie} Générale de l'alcool	Hélios	Bec à récupération de chaleur par tige centrale.	12 ^f ,50	78	33,6
Lorno - Guespin et C ^{ie}	Regina I	Bec à veilleuse alimentation par capillarité	12,00	93	40
	Bébé	"	11,00	57	30
	Regina II	Flamme dérivée	12,00	82	37
Delamotte	Monopole	"	45 ^f ,00 à 75 ^f ,00 la lampe complète.	127	66
Keenen (Berlin)	Sækular	Alimentation par gravité.	175 ^f ,00 la lampe con pièce.	305	200
Muller	"	Bec à veilleuse alimentation p ^r capillarité	5,00	101	24,5
Keim	Perfecta	Allumage par inflammation de l'alcool refouli dans une cuvette circulaire attenante à la tête du bec.	10,00	64,8	27
Société Nationale d'incandescence.	Natiolux	Bec à veilleuse alimentation p ^r capillarité	4,00	103	48
Elior	"	Bec à récupération par tige centrale. alimentation p ^r capillarité	8,50	76	17,7
Lineau	"	Bec à veilleuse.	6,00	103,5	25

Mode expérimental — Chaque lampe était apportée par l'exposant lui-même. La température initiale de son alcool, une fois déterminée, elle était allumée et les temps nécessaires

1^{er} pour l'allumage — } soigneusement chronométrés.
2^e pour l'obtention de la pleine lumière

La lampe était pesée, photométrée, puis pesée une heure après la 1^{re} pesée. Éteinte par

Essais de M. Meulin, professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

Consommation en grammes par Bougie-heure	Temps nécessaire pour l'allumage.	Temps nécessaire pour l'obtention de la pleine lumière	Temps nécessaire pour l'extinction	Accroissement horaire de la température dans les récipients	Sommes à dépenser pour faire brûler la lampe pendant 1 heure (alcool à 90 litres)	Observations.
	min. sec.	min. sec.	min. sec.			
2,32	2, 37	4, 3	0, 6	+ 5 ^o	0 ^f , 0312	} Excellente fabrication. En progrès depuis tests-1902
2,32	1 16	1, 51	1, 5	+ 4 ^o , 8	0, 0372	
1, 00	1, "	1, "	0, 50	+ 3 ^o , 3	0, 022	} Lampes de fabrication très soignée.
2, 22	1, 10	1, 58	1, 10	+ 5 ^o	0, 0328	
1, 0	1, "	1, "	1, "	"	0, 051	
1, 5	"	"	"	+ 18 ^o	0, 122	} Un inconvénient à signaler : Echauffement considérable de l'alcool dans le récipient. Bonne lampe pour l'extérieur.
4, 13	2, 24	3, 31	0, 37.5	+ 5 ^o , 4	0, 040	
2, 4	0, 47	2, 5	Instant.	+ 4 ^o , 3	0, 026	} Des réserves sont à faire au sujet de la fabrication. Consommation élevée. Bien que cette lampe ait un coefficient de consommation avantageux, elle présente quelques difficultés d'allumage pouvant être notées parfois des ruptures de verre.
2, 15	1, 14	1, 53	0, 31	+ 4 ^o	0, 0412	
4, 28	0, 32	7, 28	0, 2	+ 2 ^o , 73	0, 03	} Système très ingénieux mais qui n'est peut-être pas encore tout à fait au point.
4, 14	1, 5	2, 10	0, 18	+ 6 ^o	0, 042	

L'exposant lui-même, sa durée d'extinction était chronométrée. La température finale de son alcool était notée.

Le photomètre employé était celui de Sumner et Broadburn, l'étalon était la lampe Carcel.

L'égalité d'éclairage des deux plages du photomètre était obtenue avec une grande précision grâce à l'emploi de la cuve à sulfate de nickel et sulfate de fer de Crova, cuve qui permet de comparer des sources lumineuses de colorations différentes.

Annexe II.

Distillation des divers carburants industriels.

(E. Sorel - Sur les phénomènes de la combustion dans les moteurs fixes à alcool.
Revue de Mécanique, 28 Février 1903).

Carbures saturés que l'on peut rencontrer dans les pétroles
ou essences n'ayant pas subi le cracking.

	Point d'ébullition (Degrés)	Poids spécifiques	
		(Kilog.)	(degrés)
Pentane Normal (C^5H^{12})	37-39	0,626	17°
Isopentane	30,5-31,5	0,628	18
Hexane Normal (C^6H^{14})	69-71	0,663	17
(Constituants principal de l'éther de pétrole ou gazoline)			
Heptane Normal (C^7H^{16})	98	0,688	15
(Constituants principal de la Ligroïne)			
Octane Normal (C^8H^{18})	124	0,719	0°
(Constituants principal de la Ligroïne)			
Nonane normal (C^9H^{20})	149,5	0,723	13,5
Nonane α } (constituants principaux du kérosène)	135-137	0,742	12
Nonane β }	129,5-131,5	0,734	13
Décane ($C^{10}H^{22}$)	160-162	0,740	16
Undécane ($C^{11}H^{24}$)	180-182	0,756	15
Dodécane ($C^{12}H^{26}$)	214,5	0,755	15
Trédecane ($C^{13}H^{28}$)	218-220	0,778	15
Tétradécane ($C^{14}H^{30}$)	236-240	0,796	15
Pentadécane ($C^{15}H^{32}$)	258-262	0,809	15
Hexadécane ($C^{16}H^{34}$)	vers 280	0,771	15

Les différentes essences de pétrole du commerce ont été distillées par M^r E. Sorel qui les a recueillies par dixièmes successifs. Il semble que les carbures légers mis à la disposition des possesseurs de moteurs à explosion ne sont pas sélectionnés d'après un principe bien net. On s'attache à avoir simplement assez de carbures très volatils pour faciliter l'entretien du moteur et à avoir une densité correspondant à une indication fournie par la routine.

Voici les résultats obtenus par M^r Sorel.

Distillation des Essences employées en Automobilisme.

	Températures Degrés	Densités spécifiques Kilog.	
I. Automobiline		0,699	
1 ^{er} dixième	58-64-68	0,664	} Ecaces d'Isopentane Mélange d'Hexane et d'Heptane
2 ^{me} — id. —	68-72	0,669	
3 ^{me} — id. —	72-76	0,678	
4 ^{me} — id. —	76-81	0,687	
5 ^{me} — id. —	81-87	0,694	} Principalement Heptane.
6 ^{me} — id. —	87-95	0,704	
7 ^{me} — id. —	95-101	0,725	} Heptane à Nonane normal
8 ^{me} — id. —	101-109	0,714	
9 ^{me} — id. —	109-127	0,733	} Nonanes
II. Stelline.		0,669	
1 ^{er} dixième	45-50-52	0,649	} Mélange de Pentane et d'Hexane
2 ^{me} — id. —	52-53	0,647	
3 ^{me} — id. —	53-58	0,653	
4 ^{me} — id. —	58-63	0,678	
5 ^{me} — id. —	63-67	0,666	} Hexane et Heptane
6 ^{me} — id. —	67-71	0,673	
7 ^{me} — id. —	71-79	0,686	} Heptane et Octane
8 ^{me} — id. —	79-89	0,698	
9 ^{me} — id. —	89-120	0,715	

	Températures Degrés	Poids spécifiques Kilog.	
III - Benzomoteur			
1 ^{er} dixième	42-60	0,684	
2 ^{me} id.	60-63	0,648	} Mélange de Pentane et d'Hexane.
3 ^{me} id.	63-68	0,655	
4 ^{me} id.	68-71	0,665	} Hexane.
5 ^{me} id.	71-75	0,670	
6 ^{me} id.	75-83	0,675	} Hexane et Heptane.
7 ^{me} id.	83-88	0,686	
8 ^{me} id.	88-96	0,693	} Heptane.
9 ^{me} id.	96-106	0,704	
		0,718	
IV. Motonaphta			
1 ^{er} dixième	45-66	0,705	
2 ^{me} id.	66-70	0,655	} Traces de Pentane. Hexane.
3 ^{me} id.	70-77	0,664	
4 ^{me} id.	77-84	0,676	} Hexane et Heptane.
5 ^{me} id.	84-90	0,688	
6 ^{me} id.	90-101	0,701	} Nonane et Décane.
7 ^{me} id.	101-112	0,713	
8 ^{me} id.	112-123	0,726	
9 ^{me} id.	123-160	0,814	
		0,749	
V - Pétrole lampant			
1 ^{er} dixième	138-177	0,801	
2 ^{me} id.	177-197	0,755	} Nonane et Undécane.
3 ^{me} id.	197-212	0,765	
4 ^{me} id.	212-236	0,776	} Undécane et Dodécane. Dodécane et Tridécane.
5 ^{me} id.	236-253	0,783	
6 ^{me} id.	253-274	0,796	} Tridécane et Tetradécane. Tetradécane. Pentadécane et Hexadécane.
		0,795	

D'une façon générale les essences destinées aux automobiles contiennent déjà du pentane, l'hexane et l'heptane y dominent.

Table des Matières.

	Pages
<i>Introduction. — Le développement de l'industrie automobile.</i>	
<i>Cugnot</i> _____	2
<i>Développement de l'industrie automobile en Angleterre de 1800 à 1836.</i> _____	3
<i>Locomotive Act (1836)</i> _____	6
<i>Essai de voiture à vapeur en France (1835)</i> _____	7
<i>Remorqueurs sur routes. Dietz (1835)</i> _____	7
<i>Locomotives routières. Lotz (1856). Thomson (1869)</i> _____	8
<i>Emploi des locomotives routières pour le service des armées en campagne.</i> _____	9
<i>Bollée</i> _____	10
<i>Parties constitutives d'une voiture à vapeur</i> _____	10
<i>Serpellet</i> _____	10
<i>Tracteurs à vapeur De Dion, Le Blant, Scott</i> _____	12
<i>La voiture à pétrole. Lenoir (1862)</i> _____	14
<i>Siegfried Marcus (1877)</i> _____	15
<i>Delamarre Debonville (1883)</i> _____	15
<i>Daimler (1885)</i> _____	16
<i>Lanhard et Levassor concessionnaires des brevets Daimler (1890)</i> _____	17
<i>A. Peugeot (1891)</i> _____	17
<i>Schéma d'une voiture à pétrole</i> _____	17
<i>Les courses d'automobiles.</i> _____	18
<i>Paris-Rouen (1894). Course du Petit Journal</i> _____	18
<i>Paris-Bordeaux (1895)</i> _____	19
<i>Principales vitesses obtenues par les automobiles depuis la création des courses</i> _____	20
<i>Paris-Marseille (1896)</i> _____	24
<i>Accroissement continu de la vitesse dans les courses</i> _____	24

	Pages.
De l'utilité des courses d'automobiles. _____	25
La voiture de course est un engin dangereux qu'il convient de ne confier qu'à des professionnels _____	26
Réaction contre les courses de vitesse _____	27
Les Courses de côte (Laffrey) _____	28
L'alcool - moteur _____	30
Circuit du Nord (1902) _____	32
Véhicules industriels _____	32
Voitures électriques. _____	34
accumobile. Schéma d'une accumobile _____	35
Principe des voitures pétroléo-électriques. _____	37
Voitures à trolley. - Inconvénients du trolley ordinaire. _____	38
Trolley automoteur. Système Lombard-Gérin _____	39
Application des moteurs légers d'automobiles à la propulsion des ballons _____	43

Chapitre I. - Le Pétrole.

§ ^o I - Historique _____	45
§ ^o II - Gisements. _____	47
Gisements des Etats-Unis. Pennsylvanie _____	49
_____ id. _____ Ohio - Californie _____	50
_____ id. _____ Texas _____	51
_____ id. _____ Production du pétrole _____	52
Gisement du Pérou _____	54
Gisements d'Europe. Roumanie. Galicie. Caucase _____	55
§ ^o III - Chimie du Pétrole _____	58
§ ^o IV - Emploi du Pétrole comme combustible. _____	65
Emploi dans les foyers de chaudières fixes. _____	65
Emploi sur les locomotives. _____	66
Emploi sur les chemins de fer Russes. _____	69

	Pages.
Application sur les chemins de fer Anglais et Français	70
Emploi en Californie	71
Emploi sur les navires.	72
Chapitre II - L'alcool; ses applications industrielles à l'éclairage et au chauffage.	
§^e I - L'Alcool, produit national. - Le régime fiscal et les emplois de l'alcool en France et en Allemagne.	
Importance, au point de vue agricole, de la question de consommation de l'alcool.	75
Repartition de la consommation de l'alcool par tête d'habitant en France.	77
Efforts faits en France pour développer les applications industrielles de l'alcool. Associations pour l'emploi industriel de l'alcool. Remaniements successifs du régime fiscal de l'alcool destiné à l'industrie.	78
Historique du développement en Allemagne de la question de l'alcool industriel.	81
Union syndicale des distillateurs allemands. La Centrale pour la mise en valeur de l'alcool.	84
Consommation de l'alcool par tête d'habitant en Allemagne.	86
L'alcool industriel dans les colonies.	89
§^e II - Étude physique et chimique de l'alcool pur et de ses dénaturants.	
L'alcool ordinaire - Combustion	90
Propriétés d'un bon dénaturant	91
Dénaturant actuellement employé en France	92
Inconvénients du dénaturant actuel.	93
Propriétés de l'alcool dénaturé	94
Dénaturant général allemand	95
Alcools carburés.	95
L'alcool synthétique industriel.	96
§^e III - Étude de l'incandescence par les flammes.	
Loi de Kirchhoff.	102
Flamme auto-incandescente.	104

	Pages.
Éclairage à incandescence proprement dit	105
Emploi des oxydes réfractaires comme corps incandescents.	112
Théorie de M. M. Le Chatelier et Mondouard.	114
Variation du pouvoir éclairant d'un manchon ouer	116
Incandescence par l'alcool et les hydrocarbures liquides.	117

§^e IV — L'éclairage et le chauffage par l'alcool.

Lampe à mèche avec flamme de vaporisation	122
Lampe à mèche avec vaporisation dans la flamme	123
Lampe à mèche à vaporisation par conductibilité	125
Lampe sans mèche à vaporisation dans la flamme	128
Lampe sans mèche à vaporisation par conductibilité	130
Choix d'un éclairage par l'alcool	134
Réchauds à alcool.	135
Comparaison de l'éclairage à alcool avec les autres éclairages.	143

Chapitre III — Les Moteurs à explosion.

§^e I — Types de moteurs employés en automobilisme.

Moteur à quatre temps	147
Diagrammes des moteurs à quatre temps	149
Trace des diagrammes. Manographe de M. M. Hospitalier et Carpentier	159
Caractères communs à tous les moteurs d'automobiles.	169
Conditions du fonctionnement d'un moteur d'automobiles.	175
Moteur Charles Caille	182
Moteur à deux temps; moteur Lepape	184

§^e II — Le Refroidissement des moteurs.

Conditions que doit remplir un bon refroidissement	188
Refroidissement par l'air : ailettes	189
Refroidissement par l'eau : Vaporisation de l'eau?	191

	Pages.
Refroidissement par l'eau : Circulation d'eau autour des parois du moteur.	193
Thermo-siphon	194
Circulation d'eau au moyen d'une pompe	195
Principe de la pompe centrifuge	195
Travaux de M ^e Râteau sur les pompes centrifuges.	198
Position de la pompe centrifuge dans les automobiles.	206
Entretien de la pompe centrifuge	206
Appareils pour refroidir l'eau de circulation : Radiateurs.	211
_____ id. _____ Nid d'abeilles.	214
_____ id. _____ Réservoir - Refroidisseur	214
Dispositions relatives des trois organes de la circulation d'eau : Réservoir, pompe et radiateur.	216
Choix de l'eau pour la réfrigération des moteurs.	217
§^e III - Distribution.	
Soupape d'échappement	218
Soupape d'admission.	223
Commande de la soupape d'admission	224
Cas dans lesquels s'impose la commande mécanique de la soupape d'admission : <small>les avantages.</small>	227
Cas dans lesquels la commande mécanique de la soupape d'admission ne semble <small>pas utile.</small>	228
Dispositifs de commande des soupapes.	229
§^e IV - Echappement.	
Types divers de silencieux	232
§^e V - Régulation.	
Emploi des volants.	233
Divers modes de régulation :	
1 ^e - { Variation de l'alimentation en mélange combustible	236
{ Variation de la qualité du mélange combustible	237
{ Variation de la quantité du mélange combustible	237
2 ^e - Variation de l'évacuation des gaz brûlés.	238

	Pages
Régulation par Tout ou Rien	239
Variation du point de la course où se fait l'allumage	241
Types de régulateurs : Astor, Centaux, Clément, Darracq, Moris, de Dion, Gobron-Brullé	243
Retardateur - Accélérateur.	259

§^e VI - Réservoirs et Carburateurs

Euyauterie	260
Réservoirs	261
Conditions que doit remplir un carburateur	263
Carburateurs à barbotage ou à léchage	264
Carburateurs à distribution mécanique	268
Carburateurs à gicleur	274
Discussion des conditions de fonctionnement d'un carburateur à giclage.	281
Carburateur Kebs.	294

§^e VII - Allumage par des procédés non électriques.

Mode d'allumage basé sur l'incandescence d'un corps creux	299
Allumages Catalytiques ; Gans de Fabrice ; Mydts	307

§^e VIII - Allumage électrique par étincelle d'induction.

Bobine de Ruhmkorff	313
Émbleur.	322
Émbleur magnétique	323
Émbleur mécanique	325
Émbleur Arnoux et Guerie	330
Dibeur Lacoste	332
Schémas d'allumage	334
Bougies d'allumage	335
Allumage par circuit secondaire interrompu.	338
Circuits parcourus par des courants alternatifs de haute fréquence.	339
Générateurs électriques employés pour l'allumage.	351

	Pages
<i>Piles</i>	351
<i>Accumulateurs.</i>	359
 § IX - Allumage par étincelle d'extra-courant de rupture.	
<i>Étincelle d'extra courant de rupture</i>	377
<i>Circstances qui favorisent la production d'une étincelle très chaude.</i>	377
<i>Principe de l'allumage par extra-courant de rupture</i>	378
<i>Modes d'installation mécanique de la rupture du circuit</i>	379
<i>Génération du courant; courants d'induction par déplacement d'un circuit fermé dans le voisinage d'un aimant.</i>	386
<i>Emploi des dynamos-shunt dans les automobiles.</i>	392
<i>Emploi des magnétos; la magnéto Simms-Bosch.</i>	397
 Chapitre IV - Equilibrage des Moteurs en général et plus particulièrement des moteurs à explosion.	
 § I - La force centrifuge. - Ses effets.	
<i>Accélération d'un mobile animé d'un mouvement circulaire uniforme</i>	402
<i>Force centrifuge</i>	404
<i>Looping the Loop</i>	405
<i>Couple de forces. - Ses propriétés.</i>	410
 § II - Equilibrage des masses animées d'un mouvement de rotation autour d'un axe.	
<i>Divers modes d'équilibrages</i>	411
<i>Equilibrage d'un vilebrequin.</i>	422
 § III - Equilibrage des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif. - Cas où la bielle est infinie.	
<i>Force d'inertie alternative</i>	425
<i>Ramener le problème de l'équilibrage des forces d'inertie alternatives à celui de l'équilibrage des forces centrifuges.</i>	425

Influence de la longueur de la bielle	430
Exemple d'équilibrages	432
Équilibrage d'une locomotive à 2 cylindres	435

§ IV - Équilibrage des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif. - Cas où la bielle a une longueur finie.

Accélération des masses animées d'un mouvement rectiligne alternatif; interprétation graphique	440
Conditions pour que les masses des organes animés d'un mouvement rectiligne alternatif s'équilibrent d'elles-mêmes.	447
Choix des équations qui expriment l'équilibrage	453

§ V - Application de la méthode précédente à l'équilibrage des moteurs à explosion.

Moteurs à une seule manivelle	455
Moteurs à deux manivelles	457
Le moteur à deux manivelles n'a qu'un axe de rotation	459
Le moteur à deux manivelles comporte deux axes de rotation.	461
Moteurs à trois manivelles.	463
Moteurs à quatre manivelles	473
Étude générale de l'équilibrage du 1 ^{er} ordre dans une machine à 4 manivelles.	478
Solution générale du problème de l'équilibrage d'une machine à 4 manivelles.	481
Solution symétrique de Otto Schlick	485

§ VI - Vibrations des bâtis des machines et des châssis d'automobiles.

Oscillations propres d'un système	488
Théorème de Fourier	489
Oscillations propres d'un système élastique simple.	493
Oscillations propres d'un système amorti.	494
Vibrations forcées d'un système soumis à l'action d'une force périodique.	495

Chapitre V — Le Moteur à alcool.

	Pages.
§ ^{er} I — Les réactions chimiques qui se produisent dans un moteur à alcool.	
Recherches de M ^e Cuillat	497
Recherches de M ^e Sorel.	501
§ ^{er} II — Le Carburateur.	
Qualités d'un bon carburateur.	506
Influence de la tension de vapeur du combustible.	507
Nécessité d'élever la température des carburateurs fonctionnant avec l'alcool dénaturé.	512
Influence d'un excès d'air	513
Influence de la vitesse de rotation du moteur	514
Construction des carburateurs.	516
Recherches de M ^e Cuillat sur une transformation de l'alcool avant son introduction dans un moteur.	519
§ ^{er} III — La construction du moteur à alcool.	
Course longue. — Compression forte	521
Recherches et lois de M ^e G. Chauveau.	526
Conclusion — Le moteur employé sur les voitures automobiles de course.	
Puissances des moteurs actionnant les voitures de course	528
Carburateur. — Allumage électrique.	529
Refroidissement. — Distribution.	531
La résistance de l'air et la forme extérieure des voitures de course	533
Les résultats de Paris-Bordeaux 1903. — Unique étape de Paris-Madrid.	535
Ouvrages consultés.	538
Annexes	
Annexe I — Eclairage à l'alcool; résultats d'essai	1 (a)
Annexe II — Composition des essences employées en automobilisme.	14 (a)

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

Leçons sur les Moteurs à gaz et à pétrole (Paris, Gauthier-Villars, 1901).

Leçons sur les Machines à vapeur (Liège, Ch. Desoer, 4, rue Gérardrie, 1901).

Leçons sur les Méthodes de mesures industrielles des courants continus (Paris, V^e Ch. Dunod, 1902).
