

ENCYCLOPÉDIE-RORET

CONDUCTEUR

DE

MOTEURS MODERNES

PAR

PAUL BLANCARNOUX

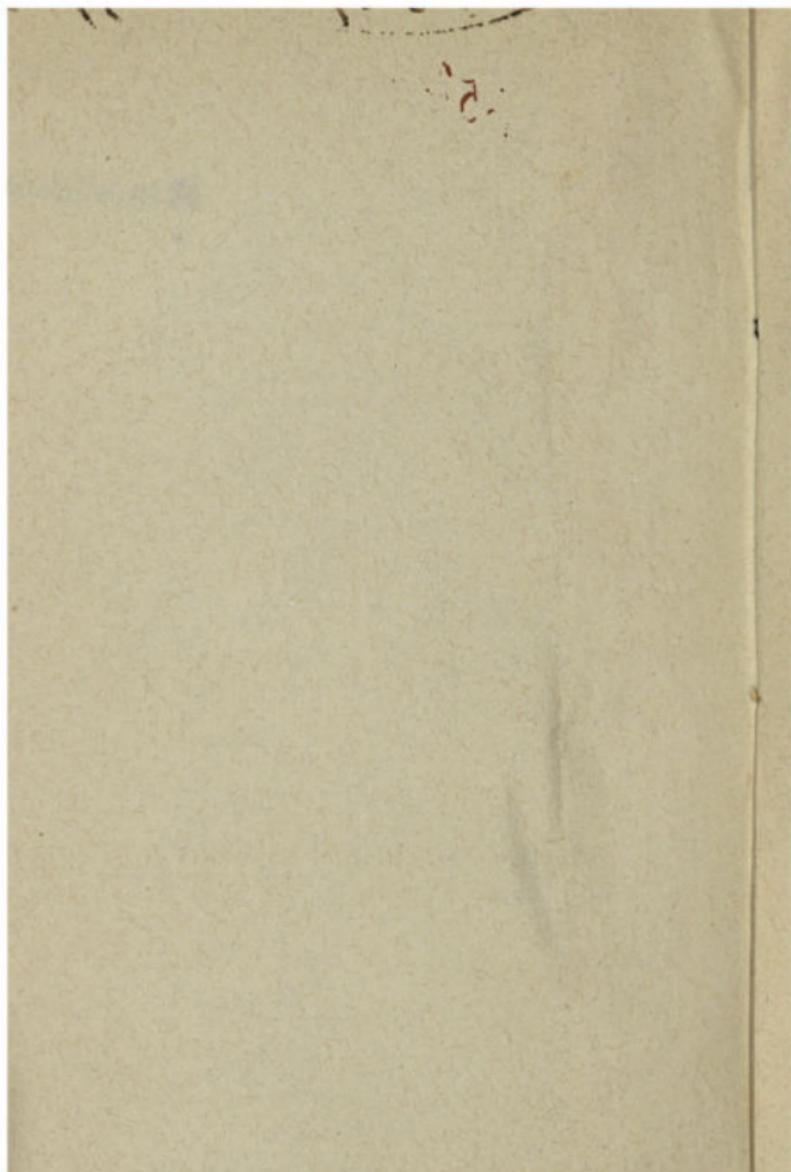
Ingénieur des Arts et Métiers
Directeur de la *Bibliothèque des Arts*, etc.

PARIS

ENCYCLOPÉDIE-RORET

L. MULO, LIBRAIRE-ÉDITEUR

12, RUE HAUTEFEUILLE, VI^e



MUSEE COMMERCE
652
17 AOUT 1947
VILLE DE LILLE

-75721

ENCYCLOPÉDIE-RORET

290771

CONDUCTEUR

DE

MOTEURS MODERNES

RM.C 52

EN VENTE A LA MÊME LIBRAIRIE

Manuel de l'Ajusteur-Mécanicien, Apprenti, Ouvrier, Contremaitre, par Paul BLANCARNOUX, ingénieur des arts et métiers. 2 vol. ornés de 230 figures dans le texte. 6 fr.

— **Chaudières à vapeur** (Conducteur de), contenant la description, la conduite, l'entretien, les accidents des chaudières, par P. BLANCARNOUX, ingénieur des Arts et Métiers. 1 vol. orné de 110 fig. dans le texte. 3 fr.

— **Artificier** (PYROTECHNIE CIVILE), contenant l'Art de confectionner et de tirer les feux d'artifice, par A.-D. VERGNAUD, colonel d'artillerie, et P. VERGNAUD, lieutenant-colonel. 1 vol. orné de figures. Nouvelle édition, refondue, par Georges PETIT, ingénieur civil. 3 fr.

— **Automobiles** (De la construction et du montage des), contenant l'historique, l'étude détaillée des pièces constituant les automobiles, la construction des voitures à pétrole, à vapeur et électriques, les renseignements sur leur montage et leur conduite, par N. CHRYSOCHOÏDÈS, ingénieur des Arts et Manufactures, professeur à la Fédération générale française des Chauffeurs, Mécaniciens, Électriciens. 2 vol. ornés de 340 figures dans le texte. 8 fr.

— **Fondeur**, traitant de la Fonderie du fer, de l'acier, du cuivre, du bronze et du laiton, de la fonte des statues, des cloches, etc., par A. GILLOT et L. LOCKERT, ingénieurs. Nouvelle édition revue, corrigée et augmentée par N. CHRYSOCHOÏDÈS, ingénieur des Arts et Manufactures. 2 vol. ornés de 253 figures dans le texte. 8 fr.

— **Pompes (Fabricant de)** de tous les systèmes, rectilignes, centrifuges, à diaphragme, à vapeur, à incendie, d'épuisement, de mines, de jardin, etc., traitant des principales Machines élévatoires autres que les Pompes, par JANVIER, BISTON et A. ROMAIN. 1 vol. orné de figures et accompagné de planches. 3 fr. 50

— **Serrurier**, ou Traité complet et simplifié de cet Art, traitant des Fers, des Combustibles, de l'Outillage, du Travail à l'atelier et sur place, de la Serrurerie du carrossage et des divers Travaux de Forge, par PAULIN-DÉSORMEAUX et H. LANDRIN. Nouvelle édition entièrement refondue par N. CHRYSOCHOÏDÈS, ingénieur des Arts et Manufactures. 1 vol. orné de 106 fig. dans le texte et accompagné d'un Atlas de 16 pl. gravées sur acier. 5 fr.

MANUELS-RORET

NOUVEAU MANUEL COMPLET

DU

CONDUCTEUR

DE

MOTEURS MODERNES

CONTENANT

Description, Montage, Conduite et Essais
des Moteurs modernes
à Gaz, à Pétrole, à Alcool, à Eau, à Air, etc.

PAR

Paul BLANCARNOUX

Ingénieur des Arts et Métiers
Directeur de la *Bibliothèque des Arts, etc.*

Ouvrage orné de 144 figures dans le texte

PARIS

ENCYCLOPÉDIE-RORET

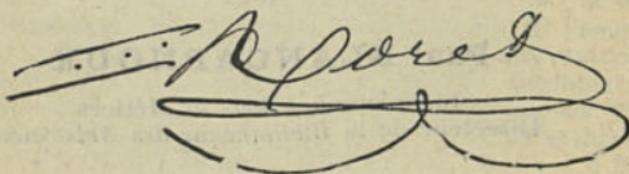
L. MULO, LIBRAIRE-ÉDITEUR

12, RUE HAUTEFEUILLE, VI^e

1913

AVIS

Le mérite des ouvrages de l'**Encyclopédie-Roret** leur a valu les honneurs de la traduction, de l'imitation et de la contrefaçon. Pour distinguer ce volume, il porte la signature de l'Éditeur, qui se réserve le droit de le faire traduire dans toutes les langues, et de poursuivre, en vertu des lois, décrets et traités internationaux, toutes contrefaçons et toutes traductions faites au mépris de ses droits.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'P. Roret', with a large, decorative flourish underneath.

PRÉFACE

Le présent volume vient à son heure, car on ne saurait contester que les machines modernes en général, et en particulier les moteurs à explosion, jouissent d'une vogue largement justifiée par leur fabrication consciencieuse, et surtout par les grandes économies qu'ils permettent de réaliser.

Bien que l'auteur ait personnellement étudié la construction et surveillé le fonctionnement de ces appareils à la fois précis et délicats, il ne s'est point enveloppé de fausse modestie chaque fois qu'il a eu l'occasion d'en référer à plus compétents que lui-même, à de savants spécialistes dont les opinions sont citées à leurs places respectives.

Dans ses grandes lignes, ce petit guide se divise et subdivise en un certain nombre de titres et sous-titres, multipliés pour la meilleure clarté de sa documentation. Nous mentionne-

rons ici — en renvoyant à la table finale — les principaux, qui sont :

Pour la PREMIÈRE PARTIE,

Moteurs à gaz ;

Pour la DEUXIÈME PARTIE,

Moteurs à pétrole ;

Pour la TROISIÈME PARTIE,

Moteurs divers.

Nous espérons que ce volume recevra, comme les précédents, un accueil favorable du public auquel il s'adresse, sans prétention autre que sa documentation modeste mais consciencieuse.

Avril 1913.

Pour tout ce qui concerne les moteurs modernes, il faut citer, avant toute autre source, les forts ouvrages de M. Witz, dont la haute compétence théorique et pratique ne peut être contestée. Puis viennent ceux de MM. Richard, Mathol, Lumet, etc., pour la France ; de M. Haeder, pour l'Allemagne, etc.

NOUVEAU MANUEL COMPLET
DU CONDUCTEUR
DE
MOTEURS MODERNES

PREMIÈRE PARTIE

MOTEURS A GAZ

CHAPITRE PREMIER

Gaz

- SOMMAIRE. — I. Gaz mixtes ou pauvres.
II. Meilleurs gaz pauvres.

I. GAZ MIXTES OU PAUVRES

Après avoir longtemps et alternativement fabriqué du gaz à l'eau et du gaz dit Siémens, pour les mélanger ensuite, on se demanda s'il ne vaudrait pas mieux produire sans interruption ces deux gaz à la fois : avec les gazogènes on obtint alors le gaz d'éclairage, qualifié de riche (peut-être parce qu'il est beaucoup plus onéreux ?).

Conducteur de moteurs.

1

Opinion de M. Witz :

« ... Ce gaz, pauvre en calories, mais riche en résultats, que l'on peut fabriquer partout, avec n'importe quel charbon maigre, pour utiliser directement son énergie dans les meilleurs des moteurs, est un auxiliaire de l'industrie plus remarquable que les chutes d'eau, qu'il faut capter et canaliser à grands frais et qu'on ne peut employer qu'au pied des cimes neigeuses qui les alimentent et à l'aide d'appareils d'un rendement trop souvent médiocre. Le gaz pauvre possède le double avantage d'être fabriqué et utilisé dans les meilleures conditions.

» Avec un kilogramme de charbon, on peut produire 4 600 litres d'un gaz dont le pouvoir calorifique moyen est de 1 300 calories par mètre cube : en estimant les calories du charbon à 7 500 et celles du gaz engendré à 6 000, on calcule un rendement égal à $6\,000 : 7\,500$, soit de 80 0/0. Or, les générateurs de vapeur ne rendent guère que 73 0/0 : le gazogène est donc très supérieur à la chaudière à vapeur ». D'autant plus, ajouterons-nous, que les gazogènes de 1913 sont perfectionnés au point de rendre bien près de 90 0/0.

Quoique le pouvoir calorifique du gaz de ville puisse atteindre en principe 5 000 et même 5 500 calories, il faut, en pratique, ne pas s'étonner si on le reçoit à un degré bien moindre, par suite de l'autorisation qu'ont les fabricants de mêler au gaz de distillation de la houille du gaz à l'eau, obtenu

en dirigeant un mélange d'air et de vapeur d'eau sur du coke maintenu à l'incandescence rouge blanc. Les arguments sont nombreux, qui militent en faveur de cette modification au cahier des charges convenues dans la plupart des grandes villes européennes et américaines.

D'abord, le principal sous-produit des usines à gaz, le coke, parfois difficile à vendre, trouve un emploi sur place de son important stock en résidu. D'autre part, la superficie des mêmes usines, ainsi que leurs frais d'établissement, se trouve réduit d'autant, dès qu'on se propose de produire du gaz à l'eau en même temps que la distillation. Enfin, les appareils usités sont alors plus faciles à conduire et à entretenir que les cornues ordinaires; d'où nouvelles économies par la réduction du personnel, etc.

Mais revenons à notre constatation du début; ce gaz à l'eau n'est pas éclairant et son pouvoir calorifique n'atteint guère que la moitié de celui du gaz de houille. Le nouveau venu n'en demeure pas moins le plus économique, tout compte fait, et sa diffusion eût été beaucoup plus rapide, si les commissions d'hygiène ne s'étaient élevées contre l'augmentation de l'oxyde de carbone qui en résulte fatalement. C'est ainsi que le conseil d'hygiène et de salubrité du département de la Seine adopta à l'unanimité, le 2 septembre 1904, le vœu suivant : « Il y a lieu d'inscrire, sur la nomenclature des établissements classés en deuxième classe, la fabrication pour l'usage public, et en troisième classe la

fabrication pour l'usage particulier, des combustibles gazeux autres que le gaz de houille et l'acétylène, lorsqu'ils sont employés dans les habitations ».

Foncièrement louable, cette restriction perd de sa valeur si, en tenant compte de la santé publique, on limite le mélange à une proportion modérée qui n'accroisse pas beaucoup la teneur en oxyde de carbone : par exemple, le gaz de houille pur en contenant jusqu'à 12 et 13 0/0, il est permis de majorer d'un tiers ce pourcentage, sans toutefois dépasser 18 à 20 0/0. Et les accidents par intoxication ne sont pas plus à craindre dans un cas que dans l'autre.

II. MEILLEURS GAZ PAUVRES

M. Witz soutint son opinion ci-après résumée au Congrès de mécanique appliquée (Liège, 1905).

L'appréciation des gaz pauvres dépend du point de vue auquel on se place. Les déductions des théoriciens ne sont pas acceptées sans réserve par les praticiens plus difficiles ; et ces derniers, de leur côté, ne sont pas toujours d'accord, suivant qu'ils tiennent plus ou moins compte de l'énergie des gaz, du prix de revient des calories disponibles, des conditions de leur production et de leur utilisation, etc. Il faut donc procéder méthodiquement, considérer tour à tour la production des gaz pauvres dans les gazogènes et leur emploi dans les moteurs.

A priori, pour un combustible donné, le meilleur gaz pauvre est celui qui correspond au rendement le plus élevé, ce rendement étant mathématiquement défini par le rapport des calories renfermées dans le gaz aux calories disponibles dans le charbon qui l'a produit. Pour l'évaluer, il faut nécessairement déterminer le volume de gaz engendré par kilogramme de combustible et préciser le pouvoir calorifique de l'un et de l'autre. Cette évaluation du rendement est presque impossible avec les gazogènes à aspiration, et elle demeure encore très difficile avec les gros gazogènes soufflés, par suite de la mesure des énormes volumes de gaz qu'elle exige. D'où la nécessité de s'adresser à des spécialistes consciencieux.

Aux essais, on obtient plus de 80 0/0 (jusqu'à 88) avec du bon anthracite anglais; les charbons maigres, plus ou moins chargés de cendres, et les coques, ne dépassent pas 75 0/0; et l'on n'obtient guère que 65, voire même 60 0/0, avec les mauvais combustibles. On peut compter sur les deux tiers (66 0/0) avec les charbons maigres français, le kilogramme de combustible fournissant de 4 à 5 mètres cubes de gaz.

Les gaz pauvres ont un pouvoir généralement compris entre 1 100 et 1 300 calories, soit une moyenne de 1 200 avec, pour limites extrêmes, 900 et 1 500 calories. Somme toute, il ne se dégage aucune loi absolue de la comparaison établie entre les divers gaz pauvres, en fonction de la qualité

du combustible solide utilisé et de la composition des gaz produits; il faudrait, pour cela, pouvoir tenir compte des quantités d'air et de vapeur insufflées dans la cuve du gazogène (à l'absolu et au relatif), de la hauteur du combustible, du diamètre de la cuve, de la température intérieure, des pertes de calorique, du mode de combustion, etc., etc., tous éléments qui interviennent dans le phénomène de la gazéification pour contribuer à la qualité du gaz et au rendement du générateur.

Il est de même très intéressant de connaître le rendement du gazogène. Au point de vue pratique, on a depuis longtemps contrôlé que l'allure dite froide provoque des dépôts goudronneux dans les conduites, alors que l'allure chaude ne donne que des suies; la froide ménage les grilles et les parois réfractaires, alors que la chaude les use plus rapidement: au total, il y a plus de pertes de calorique avec l'allure froide qu'avec la chaude.

Passons complémentaiement à la machine motrice. Un fait bien connu des praticiens consiste en cet inconvénient que les gaz très riches en hydrogène provoquent souvent des chocs dans le moteur; mais, si l'impulsion du piston devient plus énergique, elle n'est finalement pas beaucoup plus puissante. On peut alors, soit réduire la compression, soit appauvrir le mélange.

M. Witz parlant ici au personnel, nous conserverons sa docte parole textuelle: « Les moteurs s'accoutument très bien des gaz les plus pauvres,

et ils montrent à cet égard une tolérance qui a dépassé nos espérances les plus optimistes. J'ai vu certains moteurs à haute compression fournir une marche régulière avec des gaz tellement pauvres qu'il était presque impossible de les faire brûler à l'air, et dont j'estimais le pouvoir supérieur à 800 calories au plus. Mais, en général, même pour les gaz de hauts fourneaux, on peut compter sur un pouvoir d'au moins 900 calories, et alors l'allumage des charges se fait à coup sûr : c'est une question de forme de culasse, de position de la bougie, de degré de compression, de mode de réglage et de fabrication du mélange.

» Les moteurs à gaz pauvres diffèrent des moteurs à gaz de ville en ce que leur cylindre doit avoir une dimension supérieure pour compenser la perte de puissance évaluée à 15 ou 20 0/0 environ. La constitution du mélange s'effectue par 1 ou 0,8 d'air pour 1 de gaz : il faut veiller à opérer une diffusion parfaite et à donner aux canalisations les sections nécessaires ; enfin, les constructeurs ont à se préoccuper des poussières et des goudrons, au double point de vue de l'encrassement des organes et de l'évacuation hors du cylindre des particules solides. Dans ces conditions, les moteurs peuvent donner un aussi beau rendement avec le gaz pauvre qu'avec le gaz de ville ; on ne peut donc pas dire que ce rendement soit fonction de la richesse du gaz pauvre consommé.

» Les résultats suivants, que m'a obligeamment

communiqués M. Mathot, sont instructifs à cet égard : ils se rapportent à deux essais du même moteur alimenté tour à tour de gaz de ville et de gaz pauvre, celui-ci débité avec un gazogène par aspiration :

	MARCHE	
	au gaz pauvre.	au gaz de ville.
Puissance effective développée	31,2 chevaux.	40,0 chevaux.
Pression moyenne au diagramme	5 kg. 820.	6 kg. 250.
Pouvoir calorifique du gaz	4 221 calories.	5 300 calories
Consommation par cheval-heure effectif . . .	318 gr. 5 d'anthracite.	437 litres de gaz.

» La consommation en calories par cheval-heure effectif a été de 2 491 pour le gaz pauvre, et 2 316 pour le gaz de ville ; les rendements thermiques effectifs prenaient donc les valeurs 25,5 et 27,3 ; mais dans le premier cas sont incluses les pertes de gazéification, égales à 20 0/0 au moins, de telle sorte qu'évalué en calories du gaz, le rendement est inférieur pour le gaz de ville. Cet exemple est typique. Il concorde avec nombre d'autres expériences qui démontrent que l'utilisation des gaz pauvres est pour le moins aussi bonne que celle des gaz de distillation, d'un pouvoir calorifique élevé. Je citerai la consommation de 326 grammes d'anthracite relevée à Deutz par MM. Mathot, de Herbais et moi ; de 372 grammes constatée par moi à Lille ; de 393 grammes observée par M. Allaire, à Saint-Ouen, etc. Les expé-

riences faites sur les gaz des hauts fourneaux donnent des résultats analogues ; à Differdange, je trouvai une dépense de 2 823 litres en gaz à 1 046 calories par cheval-heure effectif ; à Seraing, je mesurai 3 329 litres en gaz à 981 calories, et M. Hubert, 3 495 litres en gaz à 984 ; à Rombach, 2 262 litres en gaz à 785 calories, pouvoir *inférieur* déterminé par un calorimètre à combustion à l'air libre de Junkers. Dans un essai que j'ai fait sur un gazogène par aspiration Pierson, alimenté de charbon d'Anzin, j'ai relevé une pression moyenne au diagramme de 6 kilogr., témoignant d'un régime de combustion excellent dans le moteur desservi ».

En résumé, on peut donc conclure qu'au point de vue de leur emploi dans les moteurs, les gaz pauvres valent bien les gaz les plus riches ; et les gaz les plus pauvres sont souvent les meilleurs.

CHAPITRE II

Gazogènes



SOMMAIRE. — I. Composition essentielle. — II. Gazogènes sous pression. — III. Gazogènes par aspiration. — IV. Choix des gazogènes.

I. COMPOSITION ESSENTIELLE

Un gazogène complet se compose des parties suivantes à la fois indépendantes et solidaires les unes des autres : 1° une cuve pour opérer la gazéification du combustible solide ; 2° un laveur ; 3° un épurateur ; 4° des canalisations plus ou moins longues ; 5° un gazomètre.

Cuve

La cuve en métal, soit en fonte, soit en acier, est intérieurement garnie de briques réfractaires. L'alimentation en combustible s'opère du haut à l'aide d'une trémie de chargement, que ferme un couvercle hermétique. Les cendres tombent naturellement par le bas opposé.

De son côté, l'alimentation en air s'effectue, suivant le type, par le haut ou par le bas de la cuve. Dans ce dernier cas, la combustion se fait dans le sens normal ; quand l'air pénètre par le

haut, l'on a une combustion renversée. Deux procédés sont alors mis à contribution :

1° *Gazogènes soufflés*, où l'air est insufflé au moyen d'une pompe ou d'un ventilateur ;

2° *Gazogènes aspirés*, où l'air est aspiré par le moteur à l'aide d'un tuyau qui le réunit à la cuve (plus exactement, la machine aspire du gaz pauvre, que l'air extérieur vient remplacer au fur et à mesure).

Enfin, la vapeur d'eau nécessaire au bon fonctionnement, peut être fournie soit par une chaudière indépendante du gazogène, soit par un récipient faisant partie de ce dernier et utilisant les chaleurs perdues par les parois de la cuve où s'opère la combustion. Cette vapeur est alors admise tantôt par des orifices injecteurs convenablement disposés autour de la cuve, tantôt mélangée à l'air extérieur ; chaque constructeur ayant ses préférences spécialement motivées.

Les autres détails variant avec le type d'appareil adopté, nous les décrirons à leur tour respectif.

II. GAZOGÈNES SOUS PRESSION

Considérons le système Fichet et Heurtey qui est un des plus répandus (fig. 1). Notre simple croquis parlant de lui-même, nous ne nous attarderons pas en une description superflue ; mais nous dirons quelques mots des dispositifs complémentaires, l'insufflation comportant au choix un souffleur ou un ventilateur.

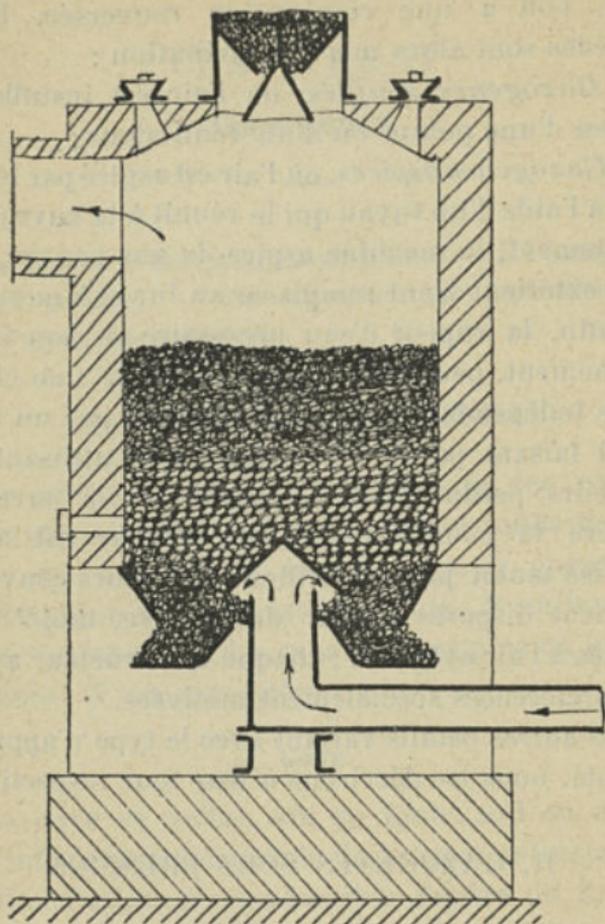


Fig. 1.

Souffleurs

La plupart de ces petits appareils sont ou dérivent du système Koerting (fig. 2). On voit schématiquement un ajutage *a* monté dans l'axe et à

l'entrée de la tuyère par laquelle la vapeur entraîne une certaine quantité d'air réglable à volonté, mélange dirigé ensuite dans le gazogène.

La vapeur employée, généralement détendue à 5 kilog., doit être aussi sèche que possible, et préférablement surchauffée. Les précautions sont d'autant plus recommandables, qu'on reproche à

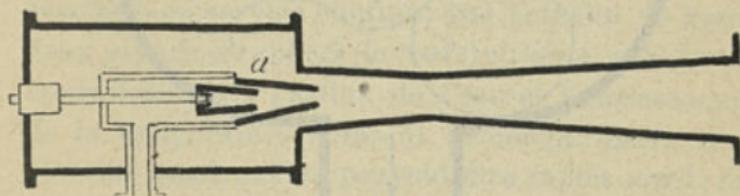


Fig. 2.

ce dispositif de donner un débit variable suivant la pression de la chaudière ; et puis, en cas de résistance dans la masse du combustible, la quantité d'air qui traverse ce dernier peut diminuer tandis que l'allure de la vapeur ne change point : d'où une nouvelle modification désavantageuse avec les deux éléments ainsi déséquilibrés.

Ventilateurs

Les ventilateurs mécaniques offrent l'avantage de ne pas exiger l'emploi de la vapeur sous pression, ni l'usage d'une chaudière spéciale ou solidaire du gazogène. Le type Root est des plus esti-

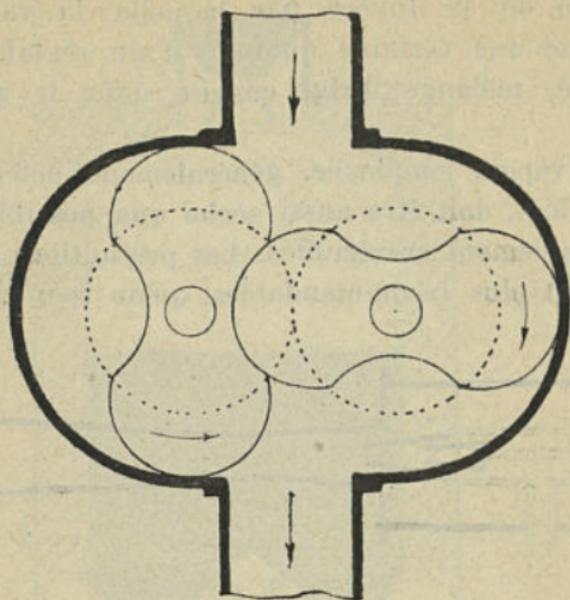


Fig. 3.

més (fig. 3). Il donne un bon rendement, surtout quand on a soin de surchauffer l'air avant son entrée dans le foyer.

Laveurs et épurateurs

La pratique de l'emploi des gaz, quels qu'ils soient, a démontré l'absolue nécessité d'une épuration des produits libérés par les gazogènes, et ce, quelle que soit la supériorité du charbon qui laisse toujours échapper plus ou moins de gaz nuisibles vers les organes moteurs : vapeurs d'eau, hydrocarbures condensables, matières miné-

rales, etc. Il s'agit donc d'empêcher ces impuretés d'atteindre la machine motrice.

Les goudrons sont réputés les plus dangereux. On pourrait supposer qu'un lavage abondant doit les [arrêter par condensation et affinité ; mais M. Witz écrit ces lignes : « J'ai fait des essais sur des gazogènes par aspiration du système Otto, de 300 chevaux, alimentés de maigres anthraciteux du bassin de Liège, qui donnaient d'excellents résultats en service continu, par l'emploi de leurs deux grands scrubbers (laveurs) en série, sans autre épuration. Mais l'action de l'eau et l'abaissement de la température suffisent rarement, parce que certains goudrons ne peuvent être captés ainsi ; ils traversent de longues colonnes à coke, copieusement arrosées d'eau froide, de triples couches de sciure de bois ou de copeaux, de mousse, de filasse, de filtres de toute espèce, ne se déposent pas contre les parois qu'ils heurtent de front et avec vitesse, et restent indéfiniment en suspension dans les plus vastes cloches où le gaz repose longuement ».

Le même auteur ajoute que, pour bien se rendre compte de la nature de ces hydrocarbures légers et subtils, il faut se rappeler les découvertes faites relativement au brouillard de certaines grandes villes industrielles d'Angleterre. Là, l'eau enrobe les poussières en suspension dans l'atmosphère et s'y mélange intimement. Semblablement, les goudrons se condensent autour des cendres et des

fines granules de charbon qui flottent dans les gaz, et ils les accompagnent partout où ils vont ; aussi devient-il presque aussi impossible de fixer ces goudrons que de retenir ces éléments impalpables si légers qu'ils n'obéissent plus à l'appel de la pesanteur, ce qui leur permet de se faufiler par les moindres interstices : ils iront ainsi jusqu'au moteur dont ils envahiront les boîtes à soupape et le cylindre ; puis, au contact des parois métalliques très chaudes, ils se déchargeront de leurs huiles et essences fluides pour ne plus former que de durs dépôts dont les inconvénients seront toujours très désagréables à subir.

Répetons-le, la nécessité d'une épuration méticuleuse ne peut donc pas être contestée. Examinons sommairement les appareils qui sont alors employés.

Epurateurs usuels

Les dispositifs les plus simples sont ceux à sciure de bois (fig. 4) et à mousse ou à fibre (fig. 5), dont les schémas parlent d'eux-mêmes avec leurs flèches.

Les gaz quittent le générateur à une température élevée, qu'on épulse en réchauffant l'eau d'injection ou en produisant la vapeur qui doit alimenter le foyer. Ils vont ensuite dans les laveurs, ordinairement représentés par une suite de récipients où s'opère le lavage prévu ; et cette épuration physique se parachève dans les appareils du genre

ci-dessus. Facultativement, l'épuration chimique peut en complément s'obtenir avec un mélange de chaux et de sulfate de fer qu'on renouvelle au fur et à mesure de leur épuisement.

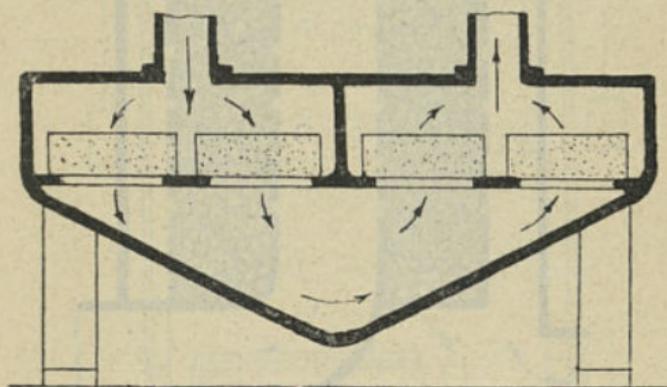


Fig. 4.

Gazomètres

Un gazomètre se compose d'une cuve et d'une cloche. Dans notre schéma, on a disposé la cuve en conséquence, pour la faire servir de laveur, afin de diminuer son encombrement (fig. 6).

Règle générale, on doit recommander l'emploi d'un reniflard (clapet spécial) s'ouvrant du dehors au dedans. Grâce à cette précaution, si le débit du gaz était arrêté tandis que le moteur tournerait toujours, l'aspiration produite par ce dernier ne

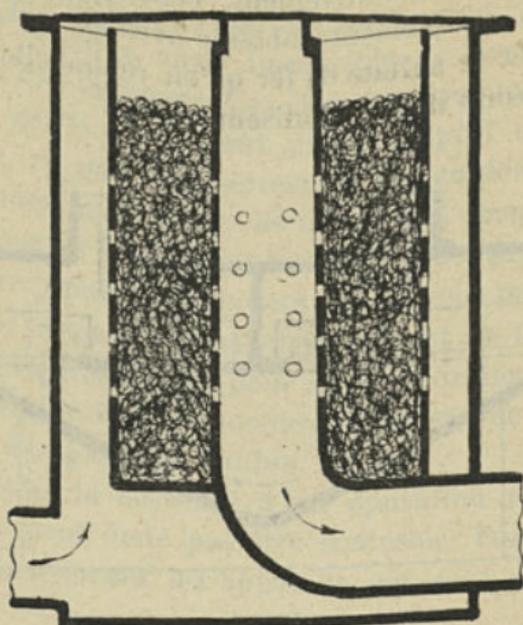


Fig. 5.

pourrait provoquer dans le cylindre l'arrivée de l'eau de la cuve du gazomètre.

Avec des moteurs de petite ou de moyenne puissance (jusqu'à 50 à 60 chevaux), on peut utiliser cette eau de la cuve pour refroidir le cylindre, en faisant descendre le liquide d'une surélévation, ce qui évite la dépense de réservoirs spéciaux. Il faut alors s'assurer que la contenance en eau de la cuve est au moins le double de ces réservoirs, sans quoi l'eau trop échauffée risque-

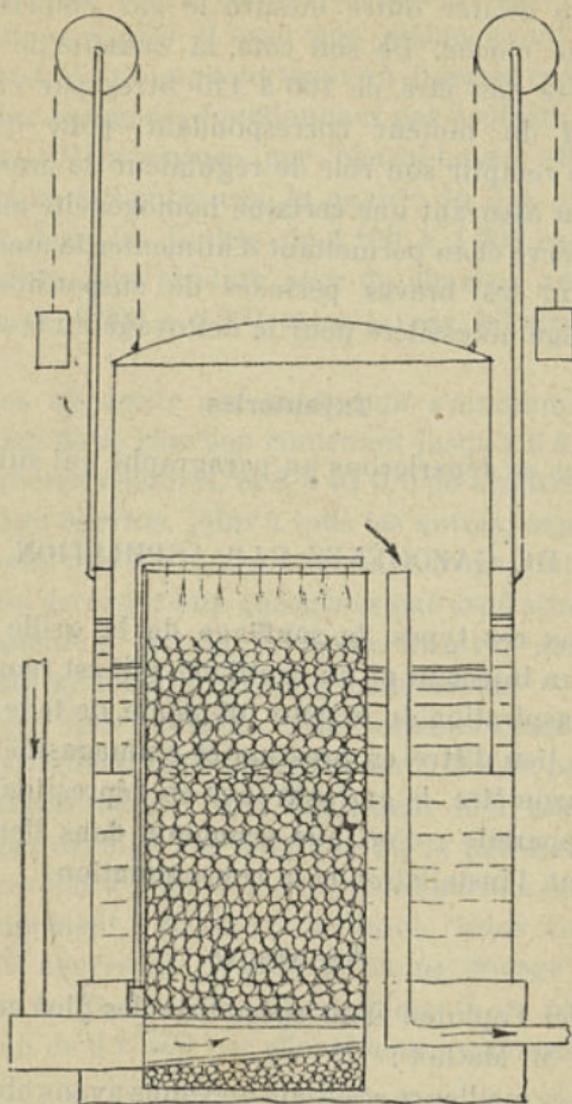


Fig. 6.

rait de dilater outre mesure le gaz emprisonné dans la cloche. De son côté, la capacité de cette dernière doit être de 100 à 110 litres par cheval effectif du moteur correspondant, pour qu'elle puisse remplir son rôle de régulateur de pression, tout en assurant une certaine homogénéité au gaz en réserve et en permettant d'alimenter la machine pendant les brèves périodes de suspension du soufflage nécessitées pour le nettoyage du feu.

Tuyauteries

Nous en reparlerons au paragraphe qui suit.

III. GAZOGÈNES PAR ASPIRATION

Dans ces types, le soufflage de la grille n'est plus un injecteur ni un ventilateur; il est remplacé par l'aspiration du moteur lui-même, de telle sorte qu'au lieu d'être en pression et emmagasiné dans un gazomètre, le gaz se trouve en dépression dans les appareils: d'où une économie dans l'emplacement, l'installation et la consommation.

AVANTAGES

Voici l'opinion d'un spécialiste des plus compétents, M. Mathot :

« Les meilleurs résultats que nous ayons obtenus avec les gazogènes soufflés n'ont guère accusé moins de 450 à 550 grammes d'antracite con-

sommé par cheval-heure au moteur, alors qu'à conditions égales et avec une même quantité de combustible, nous avons trouvé à diverses reprises, avec les gazogènes fonctionnant par aspiration, de 350 à 400 grammes par cheval-heure effectif. Dans l'un et l'autre cas, la qualité du gaz obtenu restait dans les limites de 1 100 à 1 300 calories par mètre cube produit, avec du charbon anthraciteux de 7 500 à 8 000 calories par kilogramme brut.

» Les appareils par aspiration s'accommodent très bien de ce charbon contenant jusqu'à 6 à 8 0/0 de matières volatiles, et 8 à 10 0/0 de cendres. Cet avantage énorme, joint à tous les autres, explique la faveur que les industriels, en Europe, ont tout de suite accordée aux gazogènes par aspiration. — Le moteur à pétrole lui-même trouve, dans le nouveau système, un sérieux concurrent.

» Pour fixer les idées, nous pouvons considérer un pays industriel où les deux combustibles, pétrole et charbon maigre, sont également bon marché. Soit, par exemple, la Belgique où le pétrole lampant revient à 0 fr. 15 le litre et le charbon maigre moyennement à 25 francs la tonne. Nous voyons que 10 heures de marche à pleine charge d'un moteur de 15 chevaux, s'il est alimenté de pétrole à raison de 0 l. 400 par cheval-heure, coûteront :

$$0 \text{ fr. } 15 \times 10 \times 15 \times 0,4 = 9 \text{ francs ;}$$

tandis qu'à conditions égales, la consommation de

houille étant de 0 kg. 450 au maximum par cheval-heure, le coût serait réduit à :

$$0 \text{ fr. } 025 \times 10 \times 15 \times 0,45 = 1 \text{ fr. } 69 ;$$

soit moins du cinquième du coût précédent ».

En d'autres termes, la différence de consommation pour 300 jours ouvrables, procurerait une économie de :

$$(9 - 1,69) \times 300 = 7,31 \times 300 = 2193 \text{ francs environ,}$$

somme qui, en Europe, représente la valeur même d'un gazogène de 20 à 25 chevaux.

Pour ce qui est de la possibilité d'employer les gazogènes par aspiration, en raison des qualités spéciales du combustible, M. Mathot ajoute qu'on peut employer du charbon de bois ou du coke d'usine à gaz de 6 000 à 6 500 calories. Avec ce dernier, le cheval-heure s'obtient à raison de 500 à 600 grammes. A la rigueur, on peut exceptionnellement utiliser le coke métallurgique, mais il est à déconseiller en principe à cause de ses sulfures qui, avec la vapeur, risquent de former de l'acide sulfurique très nuisible au cylindre et aux autres organes du moteur.

Systeme Riché

Très moderne, ce type autoréducteur est à double combustion, et nous emprunterons les détails qui suivent à un auteur que nous supposons bien ren-

seigné, par la Compagnie même du célèbre gaz H. Riché.

Description. — Ces gazogènes autoréducteurs utilisent toutes sortes de combustibles tels que : menus anthraciteux ; charbons maigres ; coke (grésillons, menus et poussières) ; bois de toutes essences ; déchets de bois ; sciures, copeaux, sarments de vigne ; écorces de noix de coco ; déchets ligneux en général ; paille, foin, feuilles sèches, écorces de riz ; paillettes de lin et de chanvre ; grignons d'olives, mares de raisins, bagasses ; tourbes ; lignites ; etc., etc.

Appareils à double combustion, ces gazogènes se composent, en principe, de deux cuves réfractaires soufflées par un ventilateur, avec ou sans addition de vapeur d'eau, suivant la nature du combustible utilisé. Ce dernier peut être quelconque dans la première cuve, et les produits de la combustion passent dans la deuxième cuve sur une colonne épaisse de coke incandescent. Les hydrocarbures, les goudrons, l'acide carbonique de la première combustion se décomposent ici ; et il sort finalement de l'appareil un gaz mixte constitué par l'oxyde de carbone, l'hydrogène et l'azote, parfaitement apte à la force motrice et au chauffage industriel.

Représenté en coupe verticale (fig. 7), ce gazogène comporte deux cuves B et C, réunies à leur partie inférieure par le carneau horizontal P. Les parois de ces deux cuves et du carneau sont cons-

tituées par des matériaux réfractaires avec chemise extérieure en tôle et fonte. Une couche de fibre

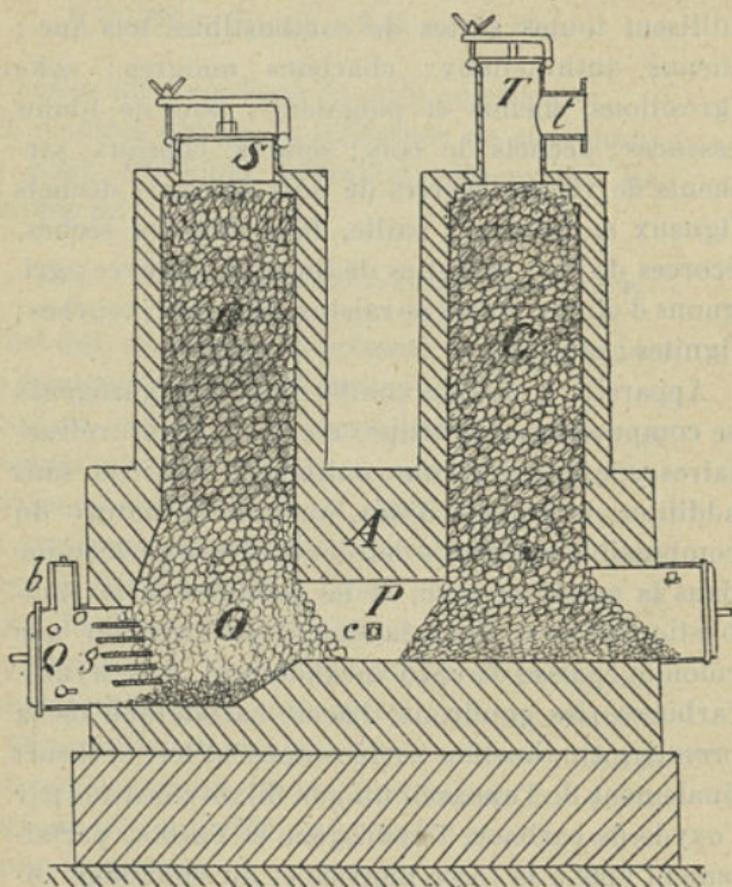


Fig. 7.

d'amiante interposée entre ces matériaux et la paroi métallique constitue un calorifuge qui s'op-

pose doublement à une déperdition sensible de la chaleur et à une détérioration fâcheuse du métal.

A la partie inférieure de la cuve B, dite de combustion, se voit le foyer proprement dit O ; le combustible chargé par la trémie S descend jusqu'à la grille *g* sur laquelle il brûle grâce à l'air primaire qui arrive par une tuyauterie *b* débouchant à la partie supérieure du cadre de porte de foyer Q. Les produits de cette combustion (oxyde de carbone, hydrogène, acide carbonique, azote) se rendent, par le carneau P, au-dessous de la colonne C, dite de réduction, et garnie de coke ou de charbon de bois, suivant la facilité avec laquelle on peut se procurer l'un ou l'autre de ces aliments.

Une seconde entrée d'air *c*, dit air secondaire, montée dans la partie médiane du carneau P, assure la combustion partielle des produits de distillation (carbures d'hydrogène) que rayonne par le foyer le combustible garnissant la colonne B. La haute température de cette combustion provoque la dissociation d'une partie des produits distillés non encore brûlés, et elle maintient à une température convenable la colonne C. Sur cette dernière viennent par réduction se décomposer, au contact du charbon fortement chauffé, ceux des produits condensables qui n'ont pu être ni brûlés ni dissociés avant leur arrivée dans ladite colonne.

La grille et le carneau se décrassent à l'aide de cadres et portes en fonte. Quand on brûle des combustibles ne laissant pas de résidus de distil-

Conducteur de moteurs.

2

lation, l'usage de la seconde entrée d'air *c* se borne à maintenir en température suffisante la colonne de réduction, celle-ci contribuant, grâce à sa hauteur et à sa chaleur constantes, à la régularité de composition et de richesse du gaz produit. Avec les combustibles humides (bois, etc.), il devient inutile d'ajouter de l'eau au foyer; mais on doit en faire arriver un filet variable, suivant la sécheresse du coke et autres charbons maigres. Le but de cette eau évaporée est de s'opposer à une trop forte élévation de température dans l'appareil, tout en produisant une certaine quantité de gaz à l'eau qui enrichit d'autant le gaz de combustion.

En quittant la colonne *C*, les gaz se rendent par le tube *t* au laveur. Une cheminée d'allumage *T*, armée d'un robinet, permet d'évacuer ces gaz dans l'atmosphère lors de la mise en marche qui exige un bon quart d'heure ou seulement cinq minutes, suivant que le gazogène est complètement refroidi ou éteint depuis une douzaine d'heures. On ferme la cheminée dès que le gaz devient combustible, ce dont on s'assure au moyen d'un petit robinet d'essai. Les gaz vont alors au laveur composé d'une série de plateaux à l'intérieur de chacun desquels se trouve une nappe d'eau continuellement renouvelée. Pour descendre d'un plateau à l'autre, les gaz doivent plonger dans cette nappe par une série de petits tubes; ce qui provoque une succession de barbotages du gaz dans l'eau assurant le lavage et le refroidissement de celui-ci.

A leur sortie du laveur, les gaz traversent l'épurateur, dit filtre-mousse, comportant deux chambres que sépare une cloison mitoyenne et dans lesquelles se tasse une couche de mousse végétale. Cet épurateur physique arrête les résidus de poussières, de goudrons et de vapeur d'eau que le laveur aurait pu laisser échapper. Les mêmes gaz se rendent ensuite au gazomètre, puis, de là, aux appareils d'utilisation. Pour l'alimentation des moteurs, on interpose ordinairement entre ce gazomètre et son moteur, et le plus près possible de ce dernier, une cloche de faibles dimensions, dite antipulsateur, qui forme comme une sorte de poumon en tôle sous poche à gaz.

La capacité du gazomètre est calculée de manière à alimenter pendant dix ou quinze minutes les machines travaillant à pleine charge, capacité suffisante pour assurer les mises en train et permettre, durant le travail, les décrassages et les charges. La cuve du même gazomètre est ordinairement utilisée comme réservoir d'eau pour le lavage et le refroidissement du gaz ainsi que pour le refroidissement du moteur, sauf si l'on dispose sans aucuns frais d'une bonne eau courante. Une pompe reprend alors l'eau utilisée pour cet usage, puis la refoule dans la cuve du gazomètre.

Une telle installation comprend alors :

- 1° Le gazogène autoréducteur à double combustion, complet avec tous ses accessoires (matériaux réfractaires, fibre d'amiante, rampe de distribution

de vent, soupape de réglage dudit, escalier avec plate-forme de service, cheminée d'allumage, laveur, épurateur filtre-mousse, outils pour la conduite du foyer) ;

2° Le gazomètre, de capacité correspondante à la puissance de l'installation, avec cuve métallique, et pourvu de tous ses accessoires (guidages et galets, trou d'homme, trous de poing, robinet de purge, bouchon de vidange, tuyauterie de trop-plein, boulons et rivets nécessaires au montage sur place) ;

3° La tuyauterie de gaz reliant gazogène, laveur, épurateur et gazomètre (cette tuyauterie s'arrêtant à la vanne de sortie de ce dernier appareil) ;

4° Le ventilateur Root, de débit approprié, au complet (poules fixe et folle, débrayage, commande à la main, boulons de scellement) ;

5° La tuyauterie de vent, qui relie le ventilateur à la rampe de distribution de vent du gazogène ;

6° Le système d'alimentation d'eau du laveur, variable avec les ressources locales en eau et avec le dispositif spécial de l'installation.

Le rendement d'un tel gazogène est presque entièrement indépendant de la nature et de la valeur calorifique du combustible gazéfié. Voyons maintenant les principales caractéristiques des combustibles utilisables dans ce type d'appareil.

Anthracites et charbons maigres. — Les anthracites et les charbons maigres anthraciteux, dont les pouvoirs calorifiques varient de 7 500 à 8 500 ca-

lories, sont des mieux indiqués pour les gazogènes autoréducteurs. Leur consommation, par cheval-heure effectif, varie entre 450 et 500 grammes suivant la construction, la puissance et le régime des moteurs alimentés, soit une dépense de 3 500 à 4 000 calories de combustible solide (toujours par cheval-heure).

On peut également employer des charbons maigres de qualité un peu moindre (6 000 calories), sans modifier sensiblement la dépense estimée ci-dessus.

Tourbes et lignites. — Ces combustibles, dont le pouvoir varie assez largement entre 3 000 et 6 000 calories, donnent semblablement de bons résultats avec une dépense d'environ 4 000 calories par cheval-heure effectif.

Cokes et dérivés. — Le coke convient sous toutes ses formes, comme à l'état ordinaire. Son grésillon à 7 000 calories donne une dépense moyenne de 550 à 650 grammes par cheval-heure effectif, suivant les moteurs alimentés.

Le poussier de coke procure environ 6 000 calories. Il en faut environ 70 kilog. par 10 heures de marche d'un moteur de dix chevaux, alors qu'il n'en brûle que 60 kilog. avec du grésillon, et 50 kilog. de bon charbon anthraciteux.

Déchets de bois, sciures et copeaux. — Ces déchets sont également des plus économiques, surtout quand on peut les avoir gratuitement sous la main. La dépense par cheval-heure effectif varie

alors entre 1 kg. 400 et 1 kg. 600, selon leur degré d'humidité.

Déchets végétaux divers. — On peut de même utiliser divers déchets tels que : pailles, grignons d'olives, écorces d'amandes, etc. Leur pouvoir calorifique approche de celui du bois, et, à équivalence d'humidité, la dépense moyenne atteint de 1 kg. 600 à 1 kg. 800.

Collecteurs de poussières

Ces petits appareils se montent entre le gazogène et le laveur. Ressemblant beaucoup à un séparateur d'eau-vapeur rudimentaire, le système le plus simple est formé d'une bouteille en fonte qu'une demi-cloison sépare pour que le fluide vienne la choquer avant de sortir en regard de sa tubulure d'entrée (fig. 8).

Laveurs

Les laveurs-refroidisseurs se composent ordinairement d'un corps cylindrique en tôle ou en fonte, fait de deux compartiments que sépare une grille en bois ou métallique. La plus spacieuse chambre supérieure est garnie de diverses matières purifiantes (coke, pierres, galets, etc.) jusqu'aux trois quarts ou quatre cinquièmes de sa hauteur ; tout à fait en haut se trouve un dispositif de distribution d'eau en écumoire. Dans l'extrémité inférieure se recueille le liquide qui a traversé les matières de la colonne et qui s'évacue par un trop-plein. Fina-

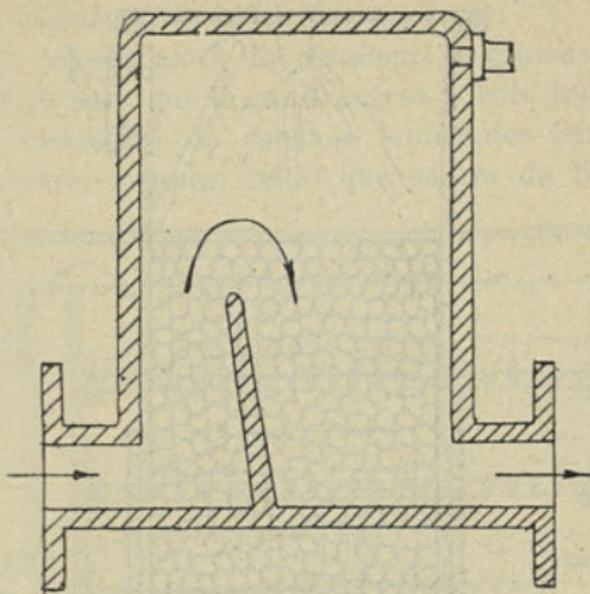


Fig. 8.

lement, le gaz aspiré *a* pénètre dans l'appareil par le compartiment du bas et sur la nappe d'eau, traverse la grille de support des matières, s'insinue par les interstices de celles-ci en sens inverse de l'eau; grâce à ce contact très laminé, il se débarrasse de son ammoniaque et de ses poussières, puis il sort par la partie supérieure en diagonale *b* pour se rendre, soit directement au moteur, soit dans un deuxième appareil d'épuration.

Le dispositif que nous venons de décrire sommairement se trouve matérialisé dans le système Otto-Deutz (fig. 9).

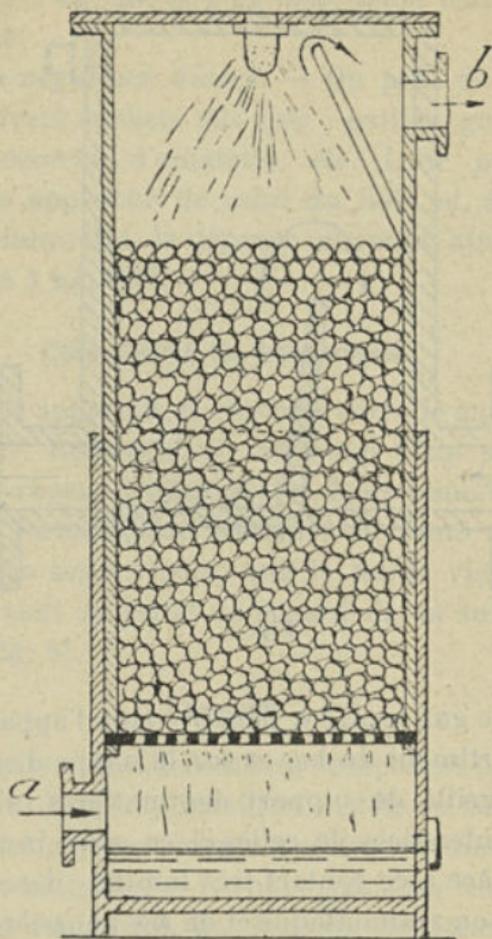


Fig. 9.

Epurateurs

On a quelquefois besoin de parfaire le précédent lavage par une nouvelle épuration encore plus in-

time, surtout quand les charbons trop gras contiennent beaucoup de goudron.

On se sert alors de récipients ingénieusement agencés pour que le gaz traverse à leur intérieur une succession de couches tamisantes faites de particules menues, telles que sciure de bois et

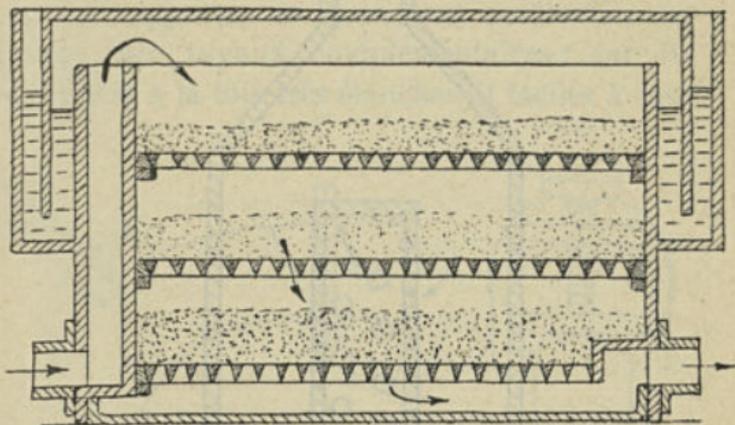


Fig. 10.

autres déchets végétaux ou métalliques. Mais il ne faut pas qu'une forte épaisseur oppose une trop grande résistance au passage du fluide, qui, d'ailleurs, doit être hermétiquement limité par un joint hydraulique.

Tel est le cas du système Pintsch (fig. 10).

Sécheurs

On remplace parfois l'épurateur par un simple sécheur monté près du cylindre, et qui, comme

pour la vapeur, a pour objet de débarrasser le fluide vital des particules d'eau qu'il pourrait en-

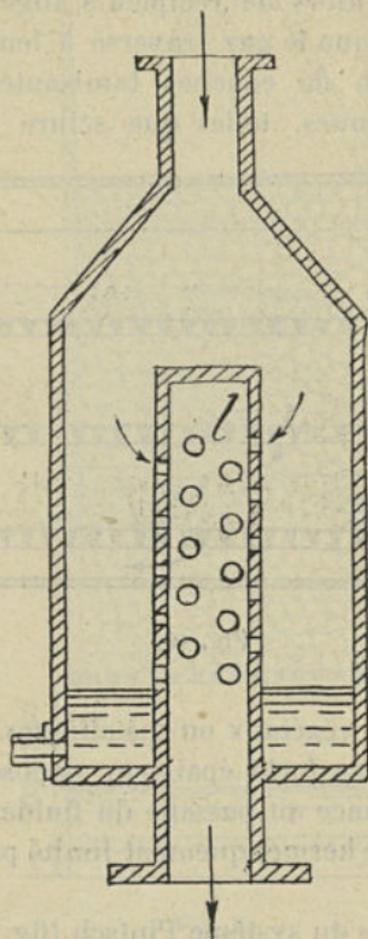


Fig. 11.

core charrier. Les modèles peuvent varier à volonté, et nous proposons celui-ci (fig. 11), dans lequel on

voit le gaz descendre dans l'axe d'une bouteille en fonte, puis s'échapper par un lanterneau inférieur / découpé latéralement, tandis que l'eau séparée tombe dans le bas d'où elle s'extrait par un robinet.

Tuyaux

On doit apporter un soin tout particulier au montage des tuyaux complémentaires ; car ils doivent être à la fois très étanches et faciles à net-

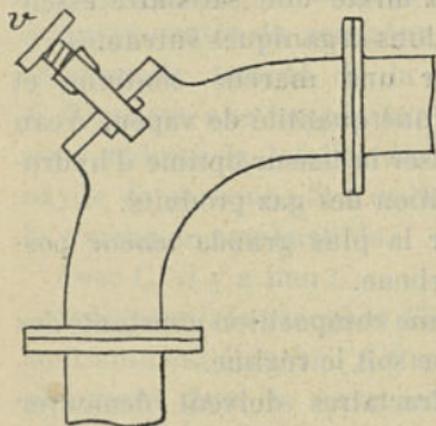


Fig. 12.

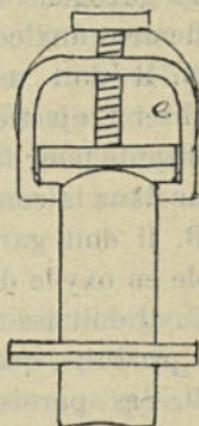


Fig. 13.

toyer. Cette étanchéité est d'autant plus indispensable que le gaz se trouve en dépression ; d'où, en cas de fuite et de rentrée d'air, un appauvrissement du fluide moteur.

En plus des joints parfaits, les coudes amples doivent être munis de couvercles spéciaux main-

tenus par un étrier *e* guidant une forte vis de serrage *v* (fig. 12-13). Ces larges ouvertures permettent alors l'introduction de brosses et autres ustensiles de nettoyage.

IV. CHOIX DES GAZOGÈNES

Nous résumerons sur ce point l'opinion d'un ingénieur-conseil en force motrice (d'après la *Technique moderne*).

Un gazogène à gaz mixte doit satisfaire essentiellement aux conditions organiques suivantes :

A. Il doit assurer une marche continue et réaliser l'injection d'une quantité de vapeur d'eau suffisante pour favoriser la teneur optimale d'hydrogène dans la composition des gaz produits.

B. Il doit garantir la plus grande teneur possible en oxyde de carbone.

C. Il doit assurer une composition constante des gaz produits, quel que soit le régime.

D. Ses parois réfractaires doivent demeurer inattaquables par les cendres, et ses organes métalliques rester le plus éloignés possible des régions chaudes.

E. Enfin, il doit être complété d'un système épurateur assurant l'élimination presque absolue des goudrons et des poussières.

Chacune de ces conditions organiques nécessite à son tour divers aménagements de détails qu'il est utile de noter. Ainsi, la considération A impose :

1° La réduction des pertes par conductibilité et rayonnement ; 2° l'emploi de la chaleur dégagée par les gaz chauds sortant du gazogène, au réchauffage de l'air d'alimentation et à la surchauffe de la vapeur d'injection.

L'alinéa B impose à son tour :

1° De prolonger autant que possible la durée du contact entre l'air insufflé et le carbone incandescent ; 2° de dimensionner la cuve pour recevoir une couche de combustible de hauteur suffisante ; 3° de pratiquer l'insufflation de l'air et de la vapeur d'eau au centre du gazogène, afin d'intéresser à la réaction la totalité de la masse combustible ; 4° d'assurer une température suffisamment élevée pour réduire la totalité de l'acide carbonique en oxyde de carbone ; 5° d'uniformiser la hauteur de la couche de combustible.

Avec C, il y a lieu :

1° De munir le gazogène d'un cône de chargement suffisamment étanche (à tiroir plutôt qu'à clapet), plongeant dans la cuve aussi bas que possible, afin de brûler les goudrons qui distillent avant l'introduction du combustible, et d'éviter de souiller les gaz ; 2° d'assurer un décrassage automatique évitant les entrées d'air accidentelles, lors de l'ouverture de la porte du foyer.

La considération D nécessite :

1° L'emploi de grilles amovibles et d'accès facile ; 2° d'éviter les pertes de combustible pendant le décrassage ; 3° de faciliter le remplacement éven-

Conducteur de moteurs.

tuel de l'enceinte en briques réfractaires, sans obliger à démonter les revêtements supérieurs.

Enfin la condition E impose :

1° Un refroidissement énergique des gaz pour faciliter la condensation des goudrons ; 2° un brassage énergique des gaz dans un courant d'eau afin de faciliter l'élimination des poussières (d'où l'utilité d'un bon ventilateur) ; 3° un lavage et un barbotage.

CHAPITRE III

Modes de fonctionnement des moteurs

SOMMAIRE. — I. Vapeur et gaz comparés.
II. Modes de fonctionnement

I. VAPEUR ET GAZ COMPARÉS

Une comparaison impartiale nous semble très utile à établir entre les machines à vapeur et les moteurs à explosion. Et nous croyons faire œuvre utile en donnant les opinions très qualifiées de quelques ingénieurs spécialistes.

Opinion de M. Witz

A propos d'une grande exposition où le moteur Charon était fort en vue : « M. Charon n'avait point péché par excès de modestie en s'octroyant le nom d'*incomparable* : c'était prétentieux, quel que fût le mérite incontesté de cette machine. Mais la plupart de ses concurrents auraient eu tort de lui reprocher cet excès d'euphémisme, car à les entendre et à lire leurs prospectus, chacun d'eux avait inventé une merveille. Cette frivolité de la réclame nuit aux intérêts de l'industrie des moteurs à gaz, car elle témoigne d'un charlatanisme dont les constructeurs de machines à vapeur se gardent avec soin. Le moteur à gaz n'a plus besoin de ces

éloges hyperboliques, ni de ces coups de grosse caisse, qu'il faut laisser aux fabricants de savon et de chocolat ; il se recommande bien assez de lui-même ». — Evidemment, surtout auprès des connaisseurs intéressés.

Plus bas, en vue de corriger les solutions encore imparfaites : « On devrait faire fonctionner les moteurs à gaz comme les machines à vapeur, en admettant une charge tonnante de richesse constante, mais de volume variable, sous la dépendance du régulateur, suivant les besoins du travail et du réglage. De la sorte, le volume admis serait indépendant de la course du piston ; la détente pourrait être allongée à volonté, et elle serait maximum alors que le moteur travaillerait à moindre charge. La vitesse se réglerait donc sans supprimer aucune explosion, et chaque cycle de quatre temps aurait son impulsion motrice, sans qu'on soit exposé à avoir des ratés ». Puis, au sujet de l'emploi direct des gaz de hauts fourneaux : « Les moteurs à grande puissance étaient réalisés ; où allait-on trouver des gazogènes assez grands pour fournir les 1 800 mètres cubes de gaz qu'absorbe par heure un moteur de 600 chevaux ? — C'est ici qu'intervient le bon sens de tout le monde. C'était un axiome indiscuté parmi les chimistes et les métallurgistes, que les hauts fourneaux constituent les meilleurs des gazogènes ; on savait qu'un haut fourneau de 100 tonnes consomme au moins 100 tonnes de coke et fournit en 24 heures environ

400 000 mètres cubes d'un gaz dont le pouvoir calorifique est compris entre 900 et 1 000 calories ; on utilisait ces gaz du mieux qu'on le pouvait pour chauffer des appareils à air chaud et pour produire la vapeur nécessaire aux machines soufflantes, aux pompes, aux monte-charges et aux concasseurs de minerais ; quelquefois, les gaz chauds étaient employés au grillage des minerais ». En d'autres termes, on gaspillait d'énormes quantités de gaz, qu'on n'avait alors pas grand intérêt à capter, et l'on perdait beaucoup de calories parce qu'on les utilisait mal. Et les expériences qui suivirent remédièrent de mieux en mieux à ces erreurs économiques.

Opinion de M. Letombe

Un des ingénieurs les plus qualifiés après M. Witz, M. Letombe, donne son avis à propos d'une « Introduction à l'établissement de la théorie des moteurs à explosion et à combustion », que nous analyserons d'après la savante *Technique moderne*.

Mentionnons d'abord que les mots « combustion et explosion » sont synonymes, en ce qui concerne les moteurs à combustion interne ; car, dans un cas comme dans l'autre, il ne s'agit que d'un gaz ou d'une vapeur combustible brûlant dans un milieu gazeux qui contient de l'oxygène mélangé à des gaz inertes en proportions variables.

Quand, dans un cylindre, la combustion est suffisamment rapide pour provoquer une vive élé-

vation de pression au début de la course du piston, le moteur est dit à explosion, — expression peu heureuse, car, en langage ordinaire, une explosion suppose une action brisante, subite et instantanée. Pour beaucoup de profanes, un moteur à gaz, dit à explosion, n'est qu'une machine à choc, recevant une impulsion semblable à un formidable coup de marteau au début de chaque course motrice; des techniciens, dont les préférences allaient aux machines à vapeur, en ont déduit un peu vite que les moteurs à explosion ne pourraient avoir aucune durée. Or, on connaît de ces sortes de moteurs marchant depuis plus de quinze ans, et qui n'ont eu besoin, en fait de réparations, que de quelques cercles de piston et de quelques regarnissages de coussinets.

Effectivement, dans l'explosion telle qu'elle doit se produire, il n'y a pas choc réel, mais bien élévation de pression permettant de recueillir un certain travail au cours de la détente des gaz qui s'ensuit. Il faut néanmoins reconnaître qu'il se produit parfois des combustions tellement brusques qu'il en résulte, en effet, des chocs sur le piston se répercutant dans toutes les parties de la machine; mais on est alors en présence d'un moteur dont la distribution est dérégulée, ou qu'on alimente d'un gaz inapproprié à sa compression. Or, même dans ces cas défectueux, le travail produit est encore dû à la détente consécutive des gaz et non au choc de l'explosion.

Ces réserves faites, on peut conserver l'expression de « moteurs à explosion », puisqu'elle est consacrée par l'usage, pour désigner les appareils dans lesquels l'allumage s'effectue au milieu d'un mélange combustible préalablement introduit, de toutes pièces, dans les cylindres. — Quant aux « moteurs à combustion », leur dénomination doit être réservée, dans la pratique industrielle, aux appareils dans lesquels on n'introduit d'abord que de l'air pur, le combustible n'étant injecté dans les cylindres qu'à la fin de la compression, pour brûler au fur et à mesure de son introduction.

Mais, dans les deux cas, il ne s'agit réellement que d'une combustion, et les deux qualificatifs d'explosion et de combustion ne sont qu'un expédient commode pour distinguer deux classes similaires. Et on devrait d'autant moins prendre ces deux expressions dans leur sens absolu, qu'on peut réaliser des régimes à combustion dans les moteurs dits « à explosion », et des élévations brusques de pression dans ceux dits « à combustion ».

Comment interpréter théoriquement ces phénomènes de combustion? Ce n'est pas très facile. Le cycle commence bien avec un mélange gazeux précis; mais une réaction chimique intervient bientôt qui change la nature des gaz en en faisant varier le volume d'une quantité plus ou moins appréciable. Cependant, en avançant l'hypothèse que les gaz ne changent pas et conservent invariablement la composition des gaz brûlés, on ne

commet qu'une erreur négligeable, car les mélanges contiennent toujours une forte proportion de gaz inertes provenant soit de l'azote de l'air ou des gaz combustibles, soit des gaz résiduaire des chambres de compression; or, même avec les mélanges qui possèdent la plus haute teneur calorifique, ces proportions atteignent encore, après combustion, plus de 75 0/0 pour les moteurs à gaz riche ayant une compression de 6 atmosphères, et près de 85 0/0 pour les moteurs à gaz pauvre ou à gaz de hauts fourneaux dont la compression est de 13 atmosphères.

Du moment qu'il se forme de l'anhydride carbonique et de la vapeur d'eau, les chaleurs spécifiques moyennes du mélange ne sont plus identiques à celles de l'air pur et sec; mais leur rapport varie peu, et, d'ailleurs, l'air atmosphérique aspiré dans les moteurs n'est jamais très sec; dès lors, les exposants des courbes de détente et de compression ont des valeurs suffisamment approchées pour qu'on puisse admettre que l'on opère sur des gaz brûlés, dans le parcours des cycles. Comme suite de cette constatation, la combustion dans les cylindres doit être considérée comme un simple apport de chaleur qui viendrait de l'extérieur sans perte de transmission. Mais, remarque très importante à ne pas oublier, de tout le calorique dégagé par la combustion, une certaine fraction ne peut profiter au cycle du moteur.

Quand on évalue le pouvoir calorifique d'un gaz

par la bombe calorimétrique, la vapeur d'eau produite par la combustion étant condensée, on obtient ce qu'on a dénommé le « pouvoir calorifique supérieur » du gaz. La comparaison du chiffre ainsi obtenu avec le nombre de calories transformées en chaleur par un moteur, intéresse certainement l'industriel qui achète le combustible, car, pour lui, un rendement médiocre se traduit par une dépense plus élevée. Mais, au point de vue purement thermique, on ne saurait accuser un moteur de ne pas transformer des calories qui le traversent sans se manifester. *A fortiori*, ne faut-il pas attribuer ces non-utilisations à des pertes par conductibilité, comme on l'a fait parfois.

Toute la vapeur d'eau produite, par la combustion en particulier, absorbe, pour se maintenir à l'état de vapeur dans les cylindres, une forte proportion de calorique, qui n'est autre que la chaleur latente de vaporisation et qui est rejetée à l'échappement sans avoir servi à rien, les températures d'évacuation des moteurs étant toujours beaucoup trop élevées pour permettre de compter sur une récupération par condensation au cours de la détente. Aussi ne doit-on considérer, au point de vue de l'étude des cycles, que le pouvoir calorifique des gaz : vapeur d'eau non condensée ; et c'est ce qu'on appelle « le pouvoir calorifique inférieur ». Ajoutons qu'au moment de leur combustion, certains gaz donnent lieu à des contractions (tels l'hydrogène et l'oxyde de carbone), qui sont les

deux principaux constituants des gaz industriels ; pour ces gaz, la contraction dans leur combinaison avec l'oxygène atteint la forte proportion de 33 0/0.

Au point de vue des moteurs, on peut interpréter ces contractions après combustion comme des *fuites* de calories. Effectivement, une contraction équivaut à une diminution de volume, qui entraîne une diminution proportionnelle de pression, s'il s'agit d'un apport de chaleur à volume constant ; or, dans ce cas, les élévations de tension sont proportionnelles à la quantité de calories apportées. D'où l'on déduit que le pouvoir calorifique des gaz doit être considéré comme réduit d'une valeur proportionnelle à la contraction. Et l'on peut avancer un raisonnement analogue pour les combustions à pression constante.

Et l'on voit qu'il ne serait pas avantageux de réaliser des moteurs à oxyde de carbone et oxygène pur. Pour obtenir une bonne utilisation avec des moteurs à hydrogène et oxygène, il faudrait pousser les détentes très loin et terminer les cycles par une condensation, comme pour la machine à vapeur. Fort heureusement, la nature s'est chargée de rectifier ce défaut en nous imposant l'emploi des gaz inertes mélangés en fortes proportions aux gaz combustibles, conditions où les contractions deviennent assez faibles, sans toutefois devenir négligeables au point de pouvoir les négliger dans les calculs. Pour obtenir une combustion complète

avec les mélanges contenant le minimum d'oxygène, la contraction est d'environ 4 0/0 avec les gaz riches et 10 0/0 avec les pauvres ; d'autre part, le pouvoir inférieur des gaz est parfois moins élevé de 13 0/0 que le pouvoir supérieur, différence qui atteint 10 0/0 avec le gaz d'éclairage.

Pour évaluer le « pouvoir calorifique utile », M. Letombe conseille d'opérer de la manière suivante : 1° déterminer à la bombe calorimétrique, comme le fait M. Witz, le pouvoir calorifique supérieur du gaz ; 2° faire avec soin l'analyse du gaz, et calculer la contraction qui résultera de la combustion ainsi que la chaleur de vaporisation de la vapeur d'eau susceptible de se former.

On trouve ainsi, au moins approximativement, une différence de 15 0/0 entre le « pouvoir calorifique supérieur » et le « pouvoir calorifique utile ». On se sert par ailleurs, surtout en Allemagne, de calorimètres continus à combustion (genre Junkers) ; et les partisans de cette méthode affirment que l'on obtient ainsi directement le « pouvoir calorifique inférieur », en négligeant de condenser la vapeur d'eau produite, et que l'on a, de plus, l'avantage de pouvoir opérer ainsi et sans interruption sur de grandes quantités de gaz, alors que, par l'analyse ou la bombe calorimétrique, on ne peut agir que par intermittence et sur des volumes extrêmement réduits.

Sans doute, mais il faut reconnaître aux calorimètres à combustion un autre inconvénient bien

plus grave : celui de donner lieu à des non-combustions souvent importantes, surtout avec des gaz pauvres.

Somme toute, ces erreurs sont à l'avantage des constructeurs, car plus un gaz semble avoir un pouvoir calorifique faible et plus le rendement thermique des moteurs ressort à un taux élevé ; or, la réputation usurpée de certains appareils étrangers ne provient que d'erreurs d'appréciation de ce genre. Aussi, quand on publie des essais, faut-il le faire d'une manière complète, en spécifiant avec précision toutes les mesures et constatations, au lieu d'annoncer simplement des chiffres de rendement sans dire d'où on les a tirés. Une très grande habitude est d'ailleurs nécessaire pour obtenir des essais corrects ; et, si l'on ne trouve pas des résultats concordants plusieurs fois de suite, surtout pour des machines nouvelles, c'est qu'une erreur d'expérience a dû être commise quelque part, et il faut la rechercher, la rectifier avant de rien publier.

En résumé, termine M. Letombe, on peut (au point de vue de l'apport de chaleur) considérer les moteurs à combustion interne comme des moteurs à gaz chauds dont le foyer est intérieur ; mais il ne faut prendre, pour « pouvoir calorifique utile » du gaz, que les 80 ou 85 centièmes de leur pouvoir calorifique supérieur, suivant que l'on veut tenir compte ou non des non-combustions possibles.

Opinion de M. Haeder

Avant d'entrer dans le détail très intéressant du parallèle technico-pratique, rappelons que M. Riedler, un autre ingénieur allemand, a présenté avec précision les desiderata que les constructeurs doivent réaliser dans l'établissement des puissants moteurs : « De même que dans la machine à vapeur, les distributions les plus raffinées sont inutiles, tant qu'un fonctionnement irréprochable n'est pas réalisé ; de même que, dans ces machines, un bon piston bien étanche a plus de valeur que la plus grande invention de détail ; de même, dans le moteur à gaz, il faut s'attacher surtout à satisfaire aux exigences d'une bonne marche. Au regard de ces exigences, les perfectionnements de quelques détails, répondant à des objectifs spéciaux, ont peu d'importance, d'autant plus que les hautes pressions explosives exposent les moteurs à des troubles fonctionnels que ne connaît pas la machine à vapeur ».

De son côté, M. Haeder établit sa comparaison d'après la puissance et surtout les frais d'exploitation relatifs à chaque genre. Nous traduisons l'essentiel.

Puissance

Moteur à gaz. — Cette puissance n'est pas susceptible d'augmentation, car on ne saurait accroître la puissance fondamentalement développée

par chaque explosion. Tout moteur à explosion est théoriquement établi par la puissance qui correspond à l'utilisation la plus complète du combustible. Si, par exemple, un de ces moteurs de 10 chevaux est essayé au frein et donne environ 12 chevaux, on pourrait tirer de ce fait des conclusions erronées, car en fait, la force développée par les explosions de devrait pas dépasser 10 chevaux; le moteur est plus fort qu'il n'était prévu pour cette puissance, et cela a été voulu intentionnellement. On peut donc vendre un tel moteur pour une puissance de 8 chevaux, en spécifiant qu'il possède une puissance possible de 12 chevaux, soit une réserve de 50 0/0.

Ordinairement, la puissance normale correspond à 85 à 90 0/0 de la maximum, soit une réserve de 10 à 15 0/0.

Machine à vapeur. — Dans cette catégorie, on peut obtenir une puissance plus considérable avec une admission plus large : ce que réalise automatiquement le régulateur. Si, par exemple, on impose à une machine de 10 chevaux, une charge de 14 chevaux (la puissance maximum étant supérieure à la normale d'environ 40 0/0), la consommation de vapeur pour cette dernière force est alors supérieure d'environ 10 0/0 à celle de la marche normale.

Choix comparé. — Ce qui précède montre la nécessité de choisir la puissance normale d'un moteur à gaz — correspondant à une machine à

vapeur — assez supérieure à celle de cette machine projetée pour la même installation. On doit avoir :

$$\text{Puissance moteur} = \text{Puissance machine} \times 1,4.$$

Si une machine à vapeur de 20 chevaux fait l'affaire, le moteur qui l'équivaldra devra pouvoir développer un maximum de :

$$20 \times 1,4 = 28 \text{ à } 30 \text{ chevaux.}$$

On peut semblablement se baser sur cette règle concordante :

$$\text{Puissance normale} = 0,7 \times \text{puissance maximum.}$$

Frais d'exploitation

Ces frais comprennent ceux d'établissement, augmentés des dépenses en combustibles.

Premier établissement. — Nous adopterons pour le moteur à gaz la valeur motrice la plus forte, en posant :

Puissance maximum du moteur = puissance maximum de la machine ; pour pouvoir, dans les deux cas, se ménager une égale puissance de réserve. On doit donc prévoir pour le moteur et le gazogène une dépense d'acquisition plus élevée ; car presque toujours les constructeurs indiquent la puissance maximum ou les 0,85 de cette dernière, tandis que pour la vapeur on se base sur les 0,70 du maximum.

On trouve ainsi que, pour une puissance normale

de 100 chevaux, une installation complète coûte le même prix de 42,000 francs, qu'il s'agisse de gaz ou de vapeur.

Usure. — Pour des appareils de même puissance, les efforts développés sont plus considérables dans les moteurs que dans les machines, d'où un plus long service de ces dernières. Au bout de dix ans, la machine représente encore la moitié de sa valeur à l'état neuf, alors que le moteur n'en figure plus que le quart.

Exploitation. — Les frais d'exploitation comprennent : amortissement du capital engagé, usure de l'appareil et du bâtiment, entretien et réparation, graissage et nettoyage, main-d'œuvre, éclairage, assurance, etc.

Prix des combustibles. — Les gazogènes par aspiration nécessitent généralement l'usage de morceaux d'anthracite d'environ 25 millimètres, sans schiste ni menu. Par suite de la perte occasionnée par le criblage préalable et en comprenant le transport jusqu'à la soute, on peut écrire :

Prix à pied d'œuvre de l'usine = 1,1 prix de l'anthracite à la mine, plus $1,1 \times$ transport par chemin de fer.

Consommation des combustibles. — Les moteurs à explosion ont des consommations très variables, non seulement avec chaque genre (gaz de ville, gaz de gazogène, gaz de haut fourneau, etc.), mais encore avec les différentes puissances d'un même type.

La dépense en combustible des machines à vapeur, donne les rapports suivants (puissance normale comparée à l'unité) :

Puissance.	1,40	1,20	1,00	0,80	0,60	0,40
Combustible	1,10	1,05	1,00	0,90	1,02	1,08

II. MODES DE FONCTIONNEMENT

Rappelons d'abord que la désignation générique de « moteurs à explosion » concerne toutes les machines modernes utilisant le gaz, le pétrole, l'alcool, l'essence, etc., ces divers fluides explosant en s'allumant dans les cylindres.

Mode de travail

Ainsi, en s'enflammant, le gaz explose. Cette explosion provoque, dans la même chambre, une forte élévation de température et de pression ; celle-ci pousse à son tour à une expansion des produits enflammés qui animent le piston du cylindre et par suite toute la machinerie.

Comme mode de travail, on distingue deux procédés principaux : à deux temps et à quatre temps. Chaque temps représente une course simple ; c'est à-dire qu'avec deux temps, le piston doit parcourir deux courses pour accomplir un cycle complet de travail (comme dans la machine à vapeur), et quatre trajets avec quatre temps.

Temps. — Les deux temps des machines et moteurs de même cycle, sont clairement représentés

par le diagramme (fig. 14), obtenu sur le cylindre même à l'aide d'un indicateur de travail. Le piston se dirige d'abord de gauche à droite et fait décrire au crayon du petit appareil la courbe abc ; puis il revient en sens inverse pour compléter et fermer le graphique suivant cda .

Beaucoup plus répandus parmi les moteurs à explosion, les types à quatre temps comportent quatre périodes distinctes que nous allons de même examiner sommairement.

Premier temps ou aspiration (fig. 15). Le piston s'ébranle vers la droite, détermine le vide derrière lui et aspire ainsi un certain volume d'air et de gaz, par la soupape supérieure.

Deuxième temps ou compression (fig. 16). Le piston revient de droite à gauche et, tous les orifices d'aspiration comme ceux d'échappement se trouvant fermés, il comprime le mélange précédemment aspiré.

Troisième temps ou explosion et détente (fig. 17). Dès que le piston est sur le point de toucher à son bout de course arrière, le mélange qu'il vient de comprimer s'allume, explose juste au point mort et repousse le piston vers l'avant.

Quatrième temps ou échappement (fig. 18). Après avoir touché à son bout de course droit, le piston revient une deuxième fois vers la gauche ou arrière, la soupape d'échappement inférieure s'ouvre, et les gaz sont expulsés sous elle. Puis les quatre phases se reproduisent indéfiniment.

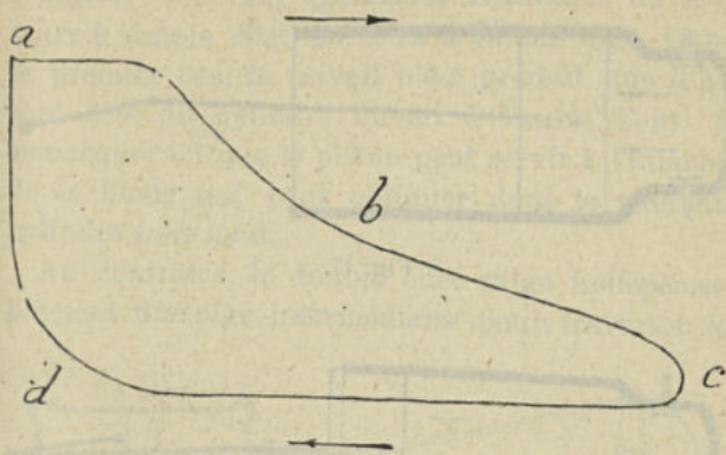


Fig. 14.

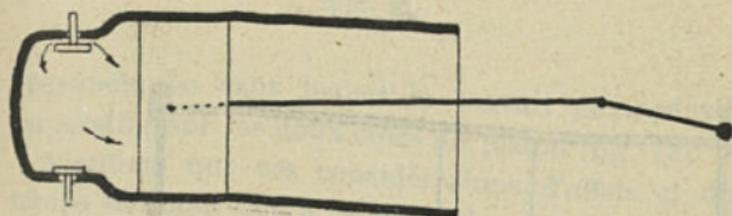


Fig. 15.

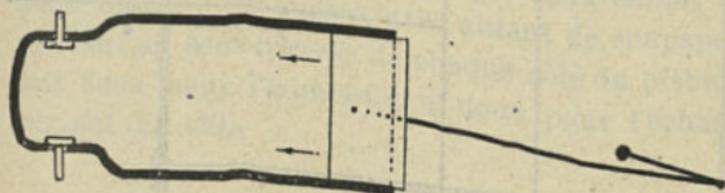


Fig. 16.

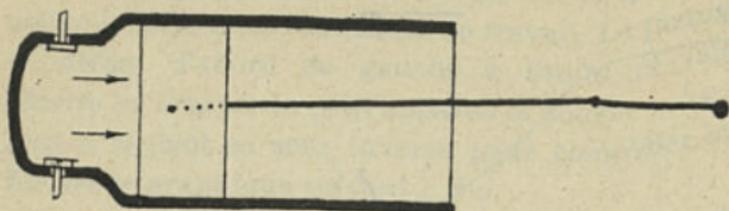


Fig. 17.

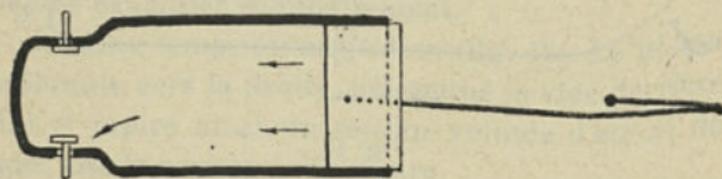


Fig. 18.

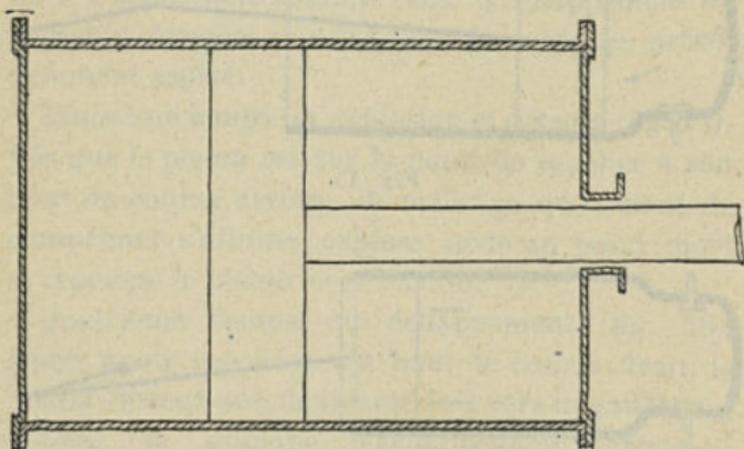


Fig. 19.

Effets. — Il faut également distinguer les moteurs à simple effet, de ceux à double effet. Dans le premier cas, le travail n'est produit que d'un seul côté du cylindre ouvert à l'autre bout. A remarquer ici que le piston peut servir à l'attache de la bielle qui peut obliquer dans le vide du cylindre sans fond.

Au contraire, le double effet exige indispensablement une tige intermédiaire pour traverser le

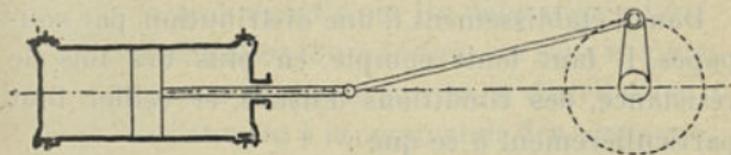


Fig. 20.

presse-étoupe sans lequel le travail deviendrait impossible sur les deux côtés du piston (fig. 19).

Ajoutons que ces considérations d'effets et de temps donnent lieu à de multiples combinaisons ; car un moteur à simple effet peut être à quatre temps, un double effet n'avoir que deux temps, et aussi en compter quatre, avec autant de soupapes ouvrant en sens inverse de chaque côté du piston, soit deux pour l'admission et deux pour l'échappement (fig. 20).

CHAPITRE IV

Modes de distribution

SOMMAIRE. — I. Règles générales.

II. Cames et excentriques.

I. RÈGLES GÉNÉRALES

Dans l'établissement d'une distribution par soupapes, il faut tenir compte, en plus des lois de résistance, des conditions d'usure, et veiller tout particulièrement à ce que :

a) Les efforts soient d'intensité constante, sans variations trop brusques ;

b) Les pressions sur les surfaces soient relativement réduites, et que ces zones soient faites de matériaux très résistants, de préférence en acier trempé, rectifié après la trempe ;

c) Les tourillons se trouvent soigneusement et très exactement montés ;

d) Les dimensions des pièces, munies d'un mouvement alternatif, soient aussi réduites que possible ;

e) De même pour la réduction de l'influence nuisible d'une usure possible sur la précision du montage.

A cet effet, lors de la construction, on doit bien veiller à ce que :

1° Le montage à l'atelier soit contrôlé à l'aide de calibres ;

2° Les démontages effectués lors des arrêts (joints, presse-étoupes, etc.), ne puissent provoquer des troubles dans la distribution ;

3° La soupape d'échappement se trouve commandée à part de celle d'admission, avec une autre came ou un autre excentrique ;

4° L'inégalité dans la commande des soupapes, occasionnée par la longueur de la bielle à fin de course, se trouve répartie sur les deux extrémités ;

5° Le moteur puisse tourner dans un sens comme dans l'autre, sans déranger en rien la distribution.

Passons maintenant à la commande des soupapes.

II. CAMES ET EXCENTRIQUES

Cette commande peut s'opérer soit avec des cames, soit avec des excentriques.

Cames

Quelques simples croquis montreront mieux qu'une longue dissertation ce qui se passe lorsqu'une came communique l'impulsion à une soupape d'échappement :

1° En c_1 , la soupape commence à s'ouvrir (fig. 21) ;

2° En c_2 , la soupape est ouverte en grand (fig. 22) ;

3° En c_3 , elle est fermée (fig. 23) ;

4° Enfin, en c_4 , on atteint le point mort (fig. 24).

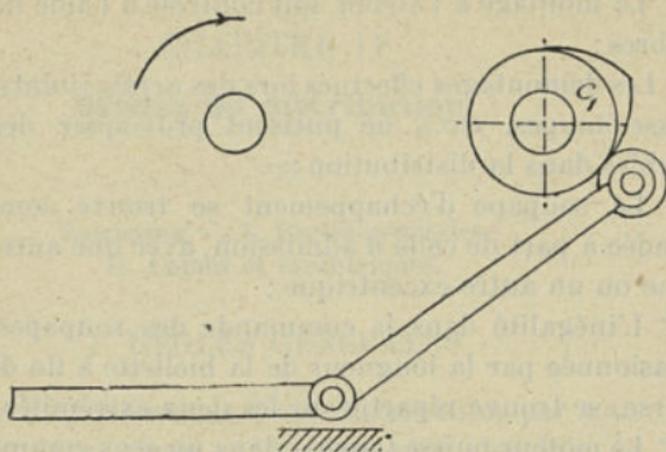


Fig. 21.

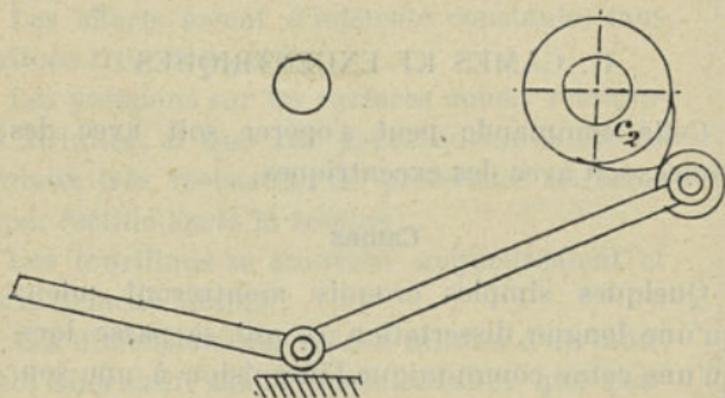


Fig. 22.

Excentriques

Bien que ces organes soient moins employés pour le gaz que pour la vapeur, on les rencontre

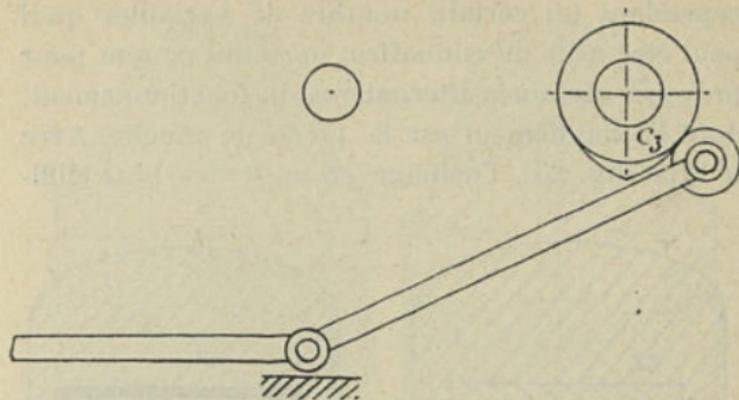


Fig. 23.

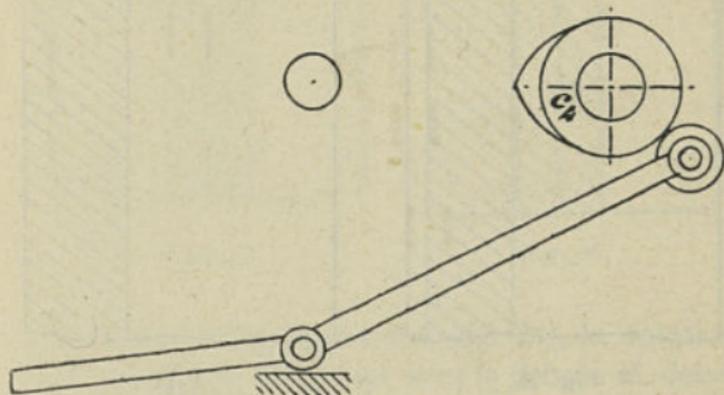


Fig. 24.

néanmoins dans beaucoup de moteurs modernes, où ils affectent l'aspect général qu'on leur connaît partout.

En les disséquant par démontage, on trouve
Conducteur de moteurs.

cependant un certain nombre de variantes qu'il peut être utile de connaître, ne serait-ce que pour prévenir certaines alternatives du fonctionnement, dont l'échauffement est la pierre de touche. Avec le type (fig. 25), l'usinage en u est des plus diffi-

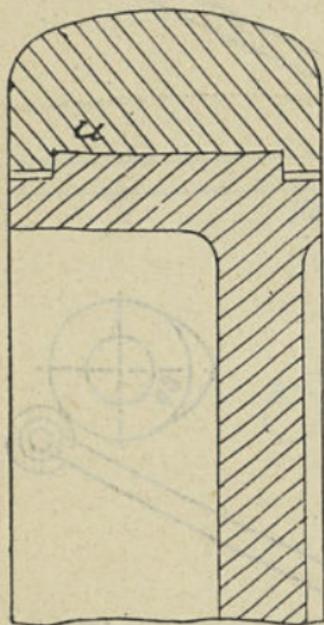


Fig. 25.

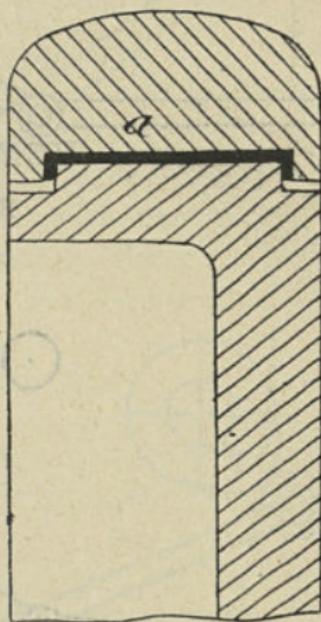


Fig. 26.

ciles pour le tourneur et l'ajusteur ; d'où l'avantage d'un garnissage en antifriccion a (fig. 26).

Remarque d'un autre genre avec le dispositif (fig. 27), où la force centrifuge ramasse l'huile au milieu m , tandis que les contacts demeurent secs vers l'extérieur, donc exposés à gripper. Au con-

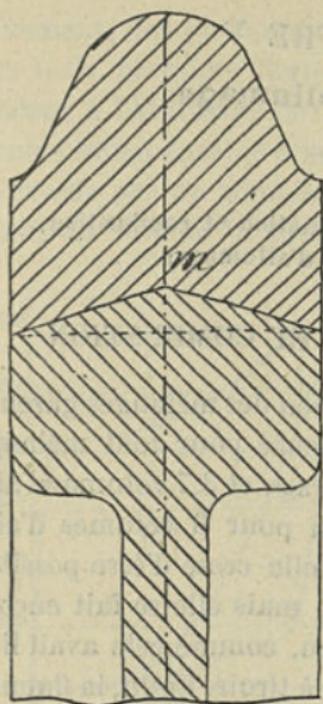


Fig. 27.

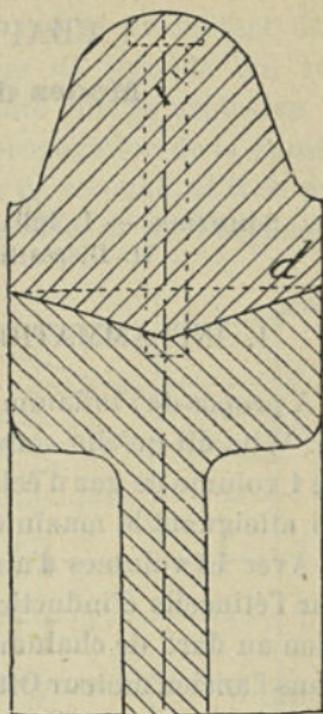


Fig. 28.

traire, avec le type inverse (fig. 28), la rotation rapide chasse le lubrifiant vers le dehors d , desséchant ainsi la zone médiane à son tour compromise. D'où la nécessité de réaliser un modèle mixte, assurant les avantages utiles, sans imposer les risques nuisibles.

CHAPITRE V

Modes d'allumage

SOMMAIRE. — I. Inflammation et combustion.
II. Dispositifs d'allumage.

I. INFLAMMATION ET COMBUSTION

A propos de l'inflammation des mélanges gazeux, M. Witz dit qu'elle commence pour tout mélange de 1 volume de gaz d'éclairage et 3,7 volumes d'air, en atteignant le maximum pour 6 volumes d'air. « Avec 13 volumes d'air, elle cesse d'être possible par l'étincelle d'induction, mais elle se fait encore bien au dard de chalumeau, comme cela avait lieu dans l'ancien moteur Otto, à tiroir. Enfin, la flamme ne se propage plus dès que l'air dépasse 16 volumes. Tous ces résultats s'appliquent au mélange pris sous la pression de l'atmosphère ».

D'autre part, l'influence des parois, de la pression et de la vitesse de la flamme propagée sont des phénomènes de grande importance dans la combustion; de nombreuses expériences l'ont prouvé.

Le professeur Hopkinson a personnellement étudié la combustion des mélanges gazeux en vase clos; et les résultats qu'il a obtenus permettent notamment de se rendre compte, au moins approxima-

tivement, des phénomènes qui se précipitent dans les trois premiers dixièmes de seconde qui succèdent à l'allumage de toute charge explosive. Le temps indispensable à la propagation de la flamme n'excède pas un trentième de seconde, et il se produit, du fait de la combustion et de l'expansion

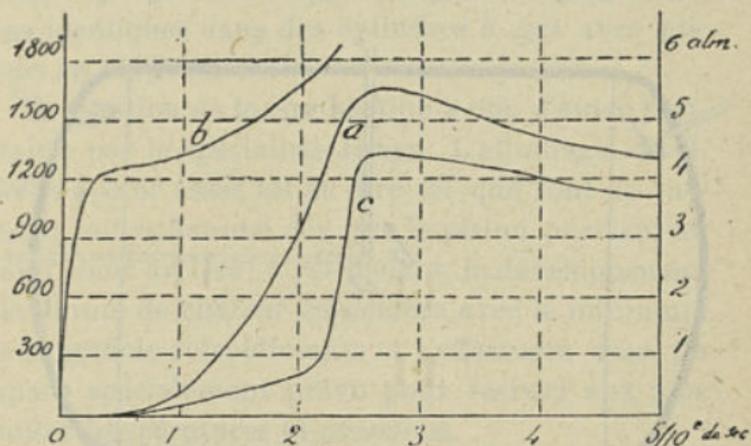


Fig. 29.

des gaz dans le voisinage du point d'allumage, une certaine compression tandis que la chaleur augmente au point considéré.

Avec la courbe *a* (fig. 29), on suit les augmentations de pression occasionnées par la combustion d'un mélange d'air et de gaz d'éclairage dans la proportion de 1 à 9, tandis que la courbe *b* fait voir les augmentations de température à un point déterminé *a* du cylindre (fig. 30). Cette deuxième courbe *b* croît très rapidement jusqu'à 1200°; puis

4.

elle accuse une progression graduelle qui correspond approximativement à celle de la pression pour la première *a*. Enfin, la troisième courbe *c* représente les augmentations de température à l'extrémité du cylindre démonstratif.

De ses expériences, M. Hopkinson conclut que si le mélange gazeux est enflammé en des points dif-

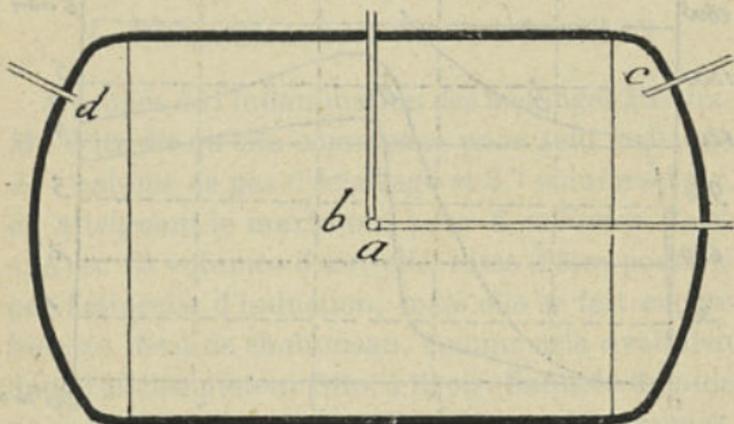


Fig. 30.

férents, il se produit de grandes divergences de température dans la masse dès que l'explosion est complète, fait d'ailleurs indépendant de l'action refroidissante des parois sur le gaz étudié. A cause de la lente propagation de la flamme comparative-ment à la vitesse de réaction en un point quelconque atteint par cette flamme, le gaz situé près du point d'allumage brûle sous une basse pression à peu près constante; puis il est comprimé après

sa combustion, tandis que les particules du gaz non encore enflammées sont comprimées avant de brûler. Il s'ensuit que les gaz voisins des points d'allumage sont beaucoup plus chauds que ceux qui s'en trouvent plus ou moins éloignés. Bien que ces différences de température aient atteint jusqu'à 500°, il y a lieu de supposer qu'elles ne seraient pas identiques dans des cylindres à gaz avec pistons en mouvement.

La question de la combustion a été, d'autre part, traitée par le spécialiste Junge. L'allumage, dit-il, doit s'opérer assez tôt et être tel que tout le mélange soit enflammé dès que le piston parvient au point mort arrière; à cet instant, le développement maximum de chaleur coïncidera avec le minimum de superficie refroidissante et s'effectuera dans un espace spécialement prévu pour résister aux plus hautes températures et pressions.

La plus forte température d'explosion est atteinte dès que le mélange d'air et de gaz contient la quantité strictement nécessaire à la combustion complète. En deçà comme au delà de ces positions idéales, le degré d'inflammabilité correspondant change et le mélange brûle à une allure plus ou moins vive pour développer une température plus ou moins haute.

Pratiquement on emploie, dans les moteurs industriels, beaucoup plus d'air que n'en exige la théorie afin de pouvoir mieux : 1° réduire les températures pour prévenir les explosions précoces qui

pourraient provenir de la grande chaleur de compression; 2° fournir au gaz assez d'oxygène pour opérer sa combustion; 3° réduire au minimum les pertes de gaz non brûlé. C'est ainsi que les moteurs à gaz pauvre fonctionnent normalement avec un excès d'air de 30 à 40 0/0 supérieur à la quantité théoriquement nécessaire; et cet excès augmente encore avec la richesse des autres gaz employés.

II. DISPOSITIFS D'ALLUMAGE

Vers la fin de la compression, l'allumage du mélange détonant situé dans le cylindre peut s'opérer de trois manières : par transport de flamme, par tube incandescent, par étincelle électrique.

Transport de flamme

Comme on ne le rencontre plus dans les moteurs modernes, nous ne décrirons pas ce procédé primitif qui présentait divers inconvénients, pour ne citer que celui-ci : la flamme d'allumage devant passer de l'atmosphère à la pression beaucoup plus élevée de la chambre de compression, devait être protégée contre la violence du courant qui menaçait de l'éteindre.

Passons donc aux dispositifs actuellement en usage.

Tube incandescent

Ce nouveau procédé met à contribution un tube t communiquant par un bout avec la chambre d'explosion, tandis que l'autre extrémité reste fermée (fig. 31). C'est par cette dernière qu'un brûleur

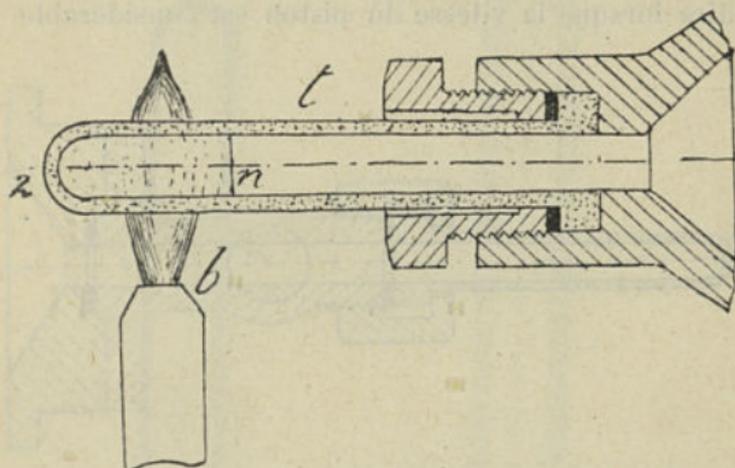


Fig 31.

externe b porte le tube à l'incandescence, ou tout au moins une partie appelée « zone incandescente », $z n$.

Vers la fin de l'explosion, la chambre de compression et le tube lui-même sont remplis de gaz brûlés, et ceux de ladite chambre se mélangent, pendant la course suivante d'admission, avec la nouvelle charge du mélange aspiré. Au contraire,

les gaz d'échappement restés dans le tube demeurent isolés, et l'explosion n'a pas lieu.

Pendant la course comprimante qui suit, les mêmes gaz entubés se trouvent comprimés, une fraction du mélange détonant plus frais parvient jusqu'à la zone incandescente et s'y enflamme ; ce qui se produit un peu avant le point mort, c'est-à-dire lorsque la vitesse du piston est considérable-

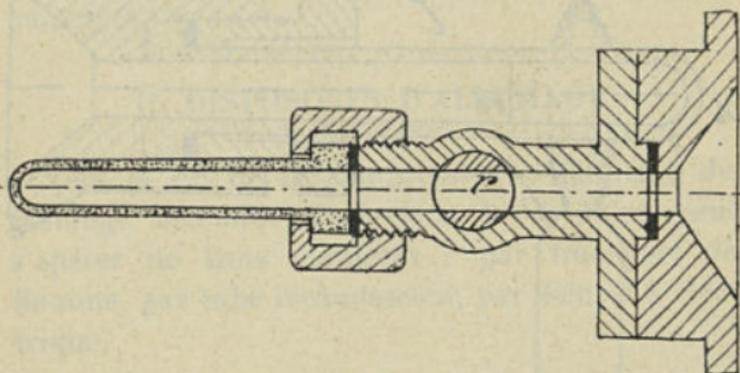


Fig. 32.

ment réduite. Cette inflammation suivie d'explosion peut s'obtenir avec grande exactitude, en réglant la température du brûleur et en déplaçant ce dernier le long de la zone incandescente.

Une modification de ce genre comporte alors l'adjonction d'un robinet *r*, entre le tube et le cylindre (fig. 32). Ce robinet est commandé automatiquement par la distribution, pour éviter les explosions intempestives.

Enfin les tubes se font tantôt en platine (fig. 33), mais en présentant l'inconvénient de la couche d'oxyde qui leur fait perdre progressivement leurs qualités d'allumage ; tantôt et mieux en porcelaine dont la résistance est meilleure aux températures

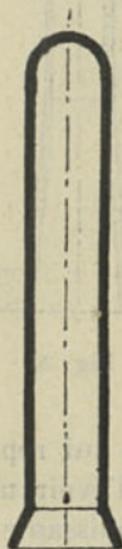


Fig. 33.

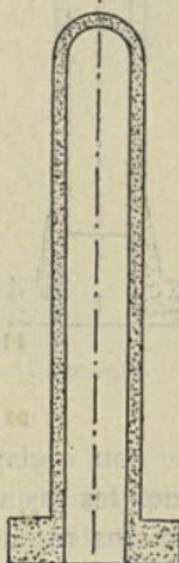


Fig. 34.

très élevées, et dont nous indiquons quelques variantes parmi les plus usuelles (fig. 34 à 36).

Étincelle électrique

Cette étincelle éclate dans la chambre dont on veut faire exploser le mélange. Ce procédé est préférable au tube incandescent, quant à la cer-

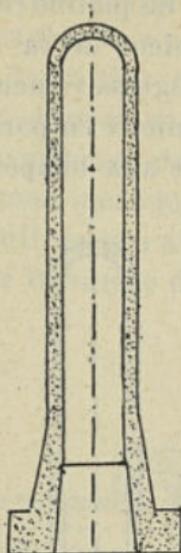


Fig. 35.

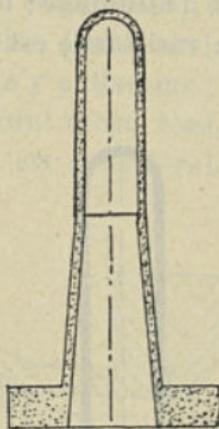


Fig. 36.

titude de son réglage ; mais on lui reproche de compliquer les installations, et d'avoir une déflagration moins rapide et moins puissante qu'avec le tube précédent.

Un schéma de ce genre comporte trois éléments distincts (fig. 37) : la bougie *b* agencée dans le fond du cylindre ; la bobine d'induction *i*, munie d'un trembleur *t* et dont les deux pôles sont reliés aux deux précédents ; la pile *p* aux fils complémentaires. Cette pile est industriellement composée d'un certain nombre d'accumulateurs en batterie, que l'on doit recharger de temps à autre.

Pour compléter les réserves ci-dessus, il y a lieu

d'ajouter que la bougie est un organe des plus délicats, à cause de la porcelaine très cassable qui la constitue ; et l'isolement obtenu n'est pas toujours irréprochable, les contacts pouvant se dété-

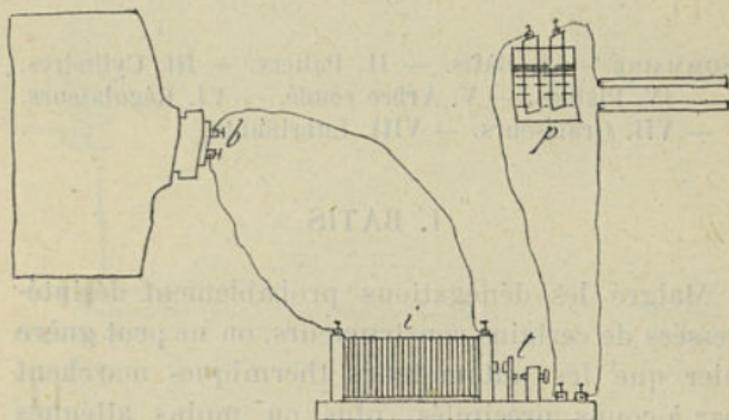


Fig. 37.

riorer par suite de surchauffe, s'encrasser et même se briser. D'où la nécessité d'un entretien constant et méticuleux, inconvénients qui expliquent la vogue attardée de l'incandescence.

CHAPITRE VI

Pièces constitutives



SOMMAIRE. — I. Bâtis. — II. Paliers. — III. Cylindres.
— IV. Pistons. — V. Arbre coudé. — VI. Régulateurs.
— VII. Graisseurs. — VIII. Lubrifiants.

I. BATIS

Malgré les dénégations probablement désintéressées de certains constructeurs, on ne peut guère nier que les automoteurs thermiques marchent par à-coups précipités, plus ou moins atténués sans doute, mais néanmoins aussi certains que les explosions qui les provoquent. D'où la nécessité de prévoir des bâtis massifs, trapus sur un large empattement, en robuste assise sur le sol, lui-même indéformable.

On ne saurait nier que cette condition de solidité contrarie l'élégance extérieure; mais une telle considération n'a presque pas de raison d'être à côté de la bonne marche économique qui doit primer avant tout. Au reste, ici comme partout ailleurs, on peut trouver des accommodements, des modifications dans les détails, ne serait-ce que dans les raccordements avec congés d'aspect dégagé.

On rencontre alors la forme droite qui facilite le montage des coussinets (fig. 38), ou l'inclinée qui allège légèrement le bâti (fig. 39). Dans le premier

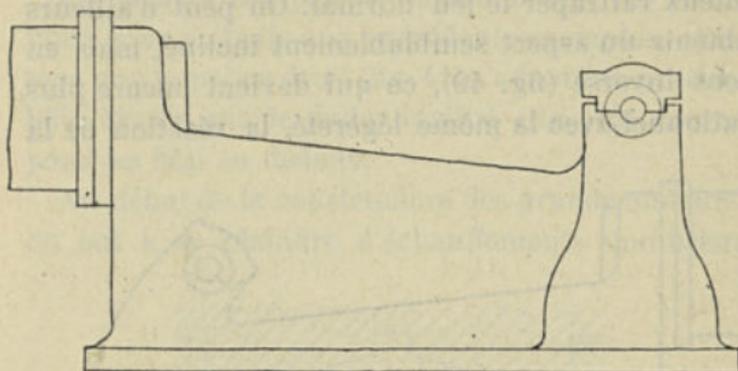


Fig. 38.

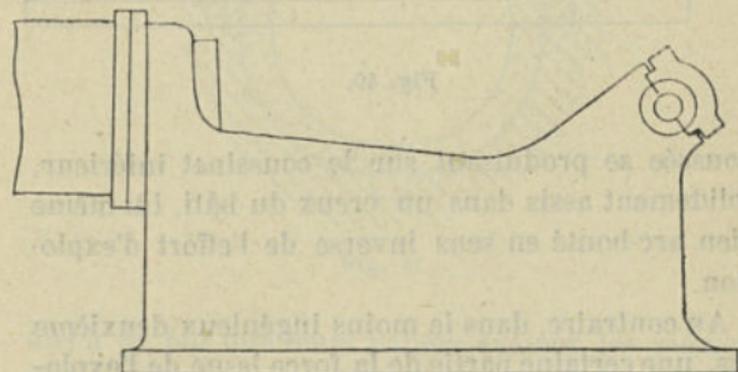


Fig. 39.

exemple, si l'ajustage n'est pas rigoureusement précis, ou encore si le portage devient insuffisant, tout l'effort de l'explosion se porte sur la partie

jointive extrême des deux demi-coquilles dont l'usure est précipitée; ce à quoi l'on peut remédier en formant les coussinets avec quatre parties pour mieux rattraper le jeu normal. On peut d'ailleurs obtenir un aspect semblablement incliné, mais en sens inverse (fig. 40), ce qui devient encore plus rationnel avec la même légèreté, la réaction de la

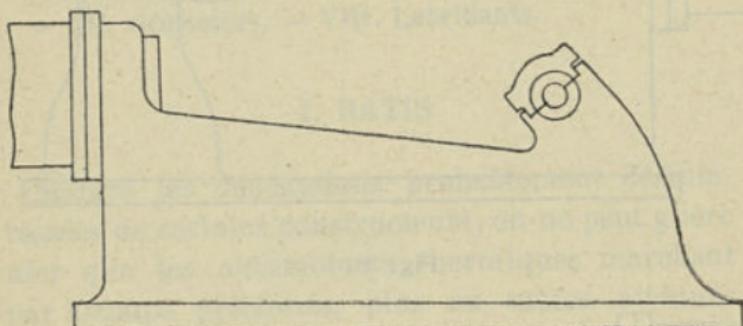


Fig. 40.

poussée se produisant sur le coussinet inférieur, solidement assis dans un creux du bâti, lui-même bien arc-bouté en sens inverse de l'effort d'explosion.

Au contraire, dans le moins ingénieux deuxième cas, une certaine partie de la force issue de l'explosion attaque la partie supérieure du coussinet, donc le chapeau de palier et surtout les boulons de fixation qui ont une tendance de plus en plus marquée vers l'arrachement dangereux.

II. PALIERS

Les paliers complètent naturellement les bâtis. Pour nous en tenir aux précédents exemples, ajoutons que le palier droit (fig. 41) s'adapte au premier bâti, tandis que le palier incliné (fig. 42) correspond au bâti en dedans.

Au début de la construction des grands moteurs, on eut à se plaindre d'échauffements nombreux

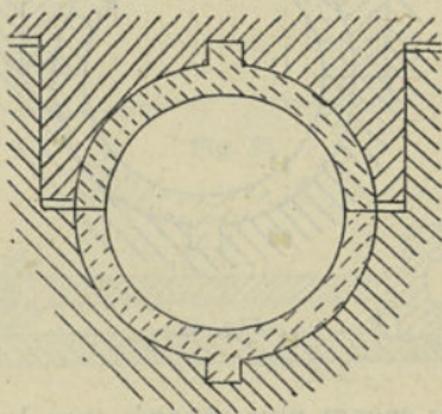


Fig. 41.

due à ce fait que leurs paliers avaient les mêmes dimensions que ceux des plus légères machines à vapeur. On remédia à ces inconvénients en majorant les diamètres des arbres et les portées des coussinets, afin d'augmenter les surfaces de contact. Ces derniers organes passifs, dès qu'ils dépassent 120 millimètres, se coulent en fonte de

fer ou d'acier, avec garnitures d'antifriction, mais sans exagération d'épaisseur, si l'on veut prévenir le matage; on fait alors dépasser un peu les joues, pour que le bras de manivelle ne puisse frôler deux métaux différents.

Comme particularité des groupes électrogènes

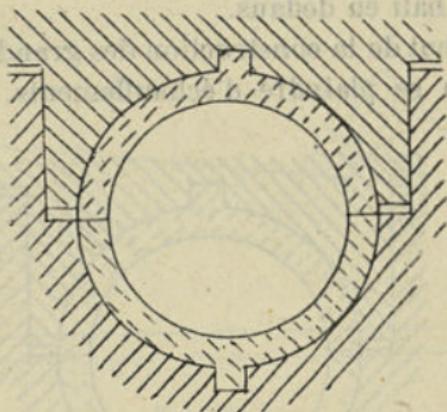


Fig. 42.

aux arbres encore plus chargés (par le volant et l'induit), il est préférable de recourir aux coussinets à base sphérique, qui se prêtent mieux aux dénivellations fréquentes.

III. CYLINDRES

Le cylindre est un des organes essentiels du moteur, non seulement comme fonctionnement, mais dès avant le montage, lors de la coulée, à

cause des multiples phénomènes mécaniques et thermiques qui intéressent à la fois la stabilité et le rendement de l'ensemble, voire même les soufflures, fissures et autres nids d'accidents en cas de coulée défectueuse, surtout quand la chemise vient avec son enveloppe (fig. 43).

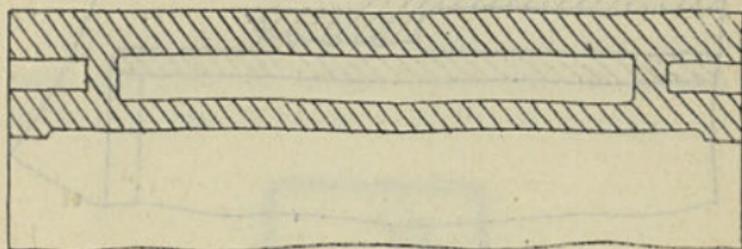


Fig. 43.

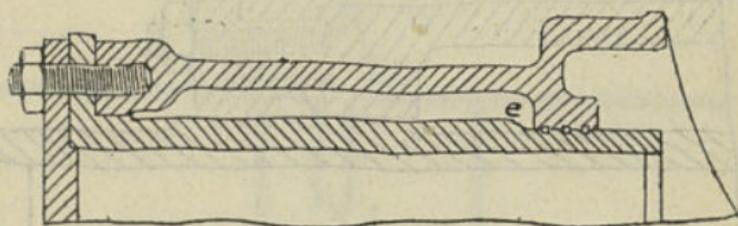


Fig. 44.

Aussi est-il préférable de rapporter cette enveloppe *e* (fig. 44). Indépendamment d'un meilleur grain obtenu, ce dispositif permet de remédier plus vite et mieux aux défauts issus de l'usure normale ou anormale.

Dans un grand nombre de moteurs, on ne trouve

dans la partie jointive *j* aucune défense particulière contre la sortie de l'eau refroidissante (fig. 45). On chauffe l'enveloppe à 200° dans une étuve et on

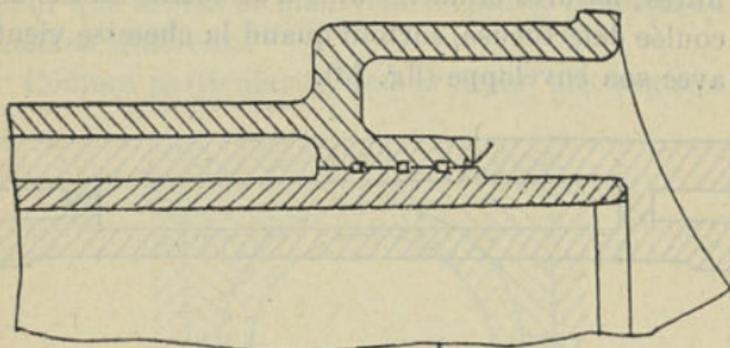


Fig. 45.

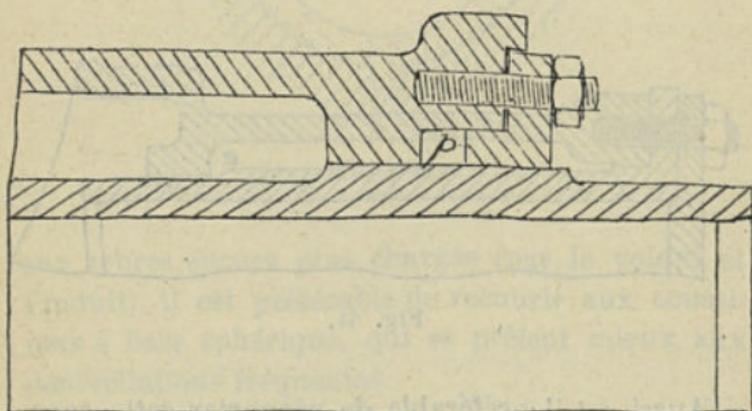


Fig. 46.

l'emboîte sur le cylindre ; mais comme cette enveloppe est tournée à un diamètre légèrement inférieur à celui de son cylindre (2 pour 1 000), le serrage

énergique s'opère tout seul lors du refroidissement.

On peut également recourir aux garnitures avec presse-étoupe p (fig. 46).

IV. PISTONS

Le piston ouvert à simple effet n'est plus guère usité que pour les faibles puissances, et jusqu'à 0^m 70 de course; à partir de 0^m 75, un guidage est

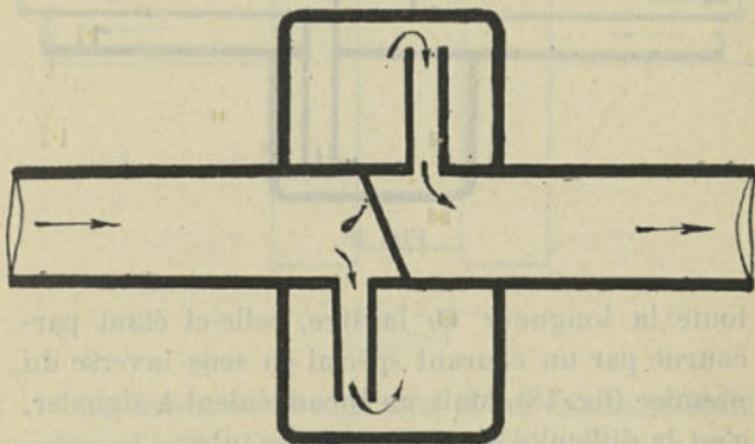


Fig. 47.

nécessaire vers l'avant. Le refroidissement n'est pas indispensable pour ce genre, mais il le devient avec le double effet.

L'eau vient de l'arrière, et, dans la tige creuse, descend dans le bas du piston, remonte vers le haut, puis regagne la même tige horizontale par

un tube analogue au précédent, et enfin, sort à droite (fig. 47). Le joint étanche *j* suffit pour diriger le liquide sans mélange.

En vue d'obtenir un meilleur refroidissement, on a également essayé deux tubes qui suivent

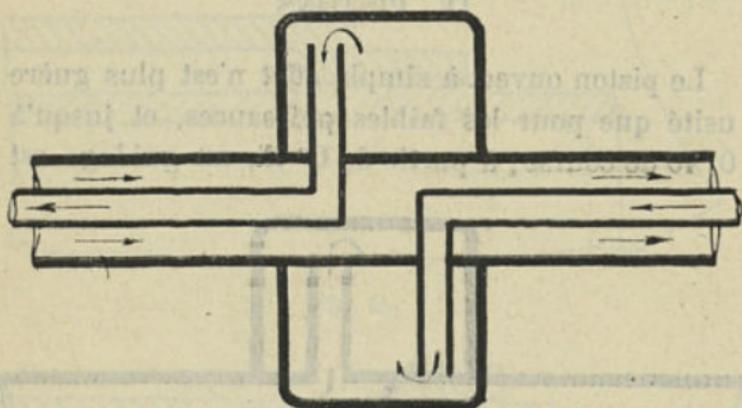


Fig. 48.

toute la longueur de la tige, celle-ci étant parcourue par un courant spécial en sens inverse du premier (fig. 48). Mais un inconvénient à signaler, c'est la difficulté du nettoyage des tubes.

V. ARBRE COUDÉ

Cet arbre manivelle doit être en acier doux de toute première qualité; il ne viendra pas de forge, arrondi (fig. 49), mais sera découpé dans la masse et ses flasques à section carrée seront rabotées puis tournées (fig. 50).

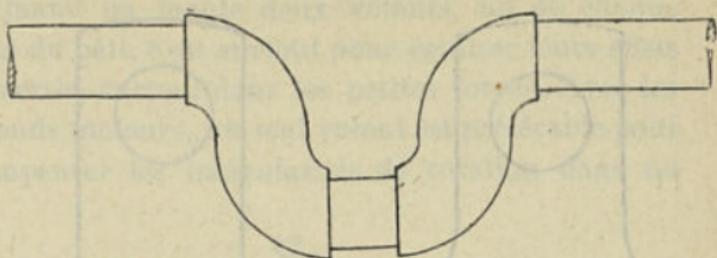


Fig. 49.

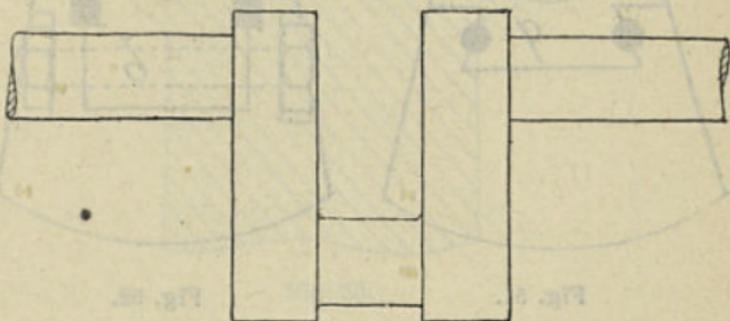


Fig. 50.

Au-dessus de 20 chevaux, il est recommandable d'équilibrer ces masses par des contrepoids qu'on rapporte sur chaque branche de manivelle. On adopte alors, soit les queues d'aronde *q* (fig. 51), soit les clavettes complétées de boulons *b* (fig. 52).

VI. RÉGULATEURS

Nous distinguerons les volants, régulateurs réservoirs d'énergie, des régulateurs proprement dits.

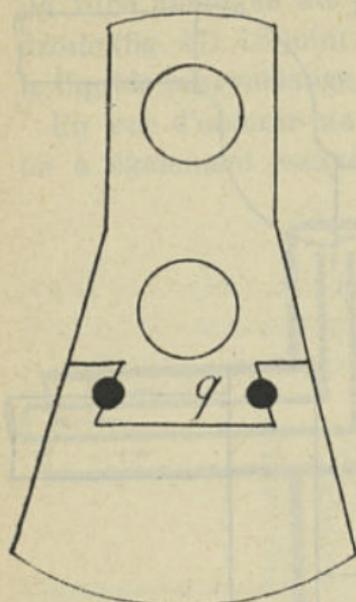


Fig. 51.

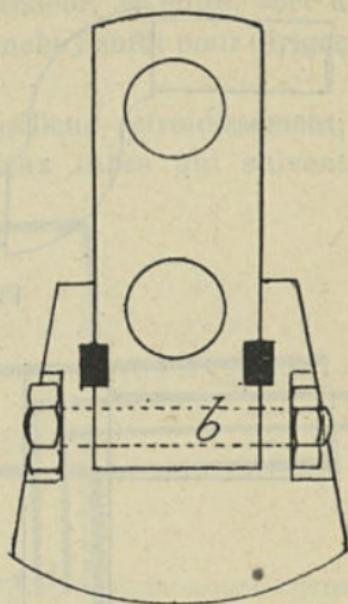


Fig. 52.

Volants

Règle générale qui demande encore plus d'attention avec les lourds automoteurs, les volants doivent être bien étudiés et aussi soigneusement montés, le plus près possible des paliers, en vue de réduire au minimum les porte-à-faux toujours nuisibles. Dans les moteurs de bonne construction, les volants sont dressés puis tournés à la jante. Leur périphérie doit être légèrement bombée, pour mieux guider la courroie *c* qui, à son tour, ne doit pas occuper toute la largeur (fig. 53).

Quand on monte deux volants, un de chaque côté du bâti, c'est surtout pour égaliser leurs effets d'inertie, surtout dans les petites forces. Avec les grands moteurs, un seul volant est préférable pour compenser les irrégularités de rotation dans un

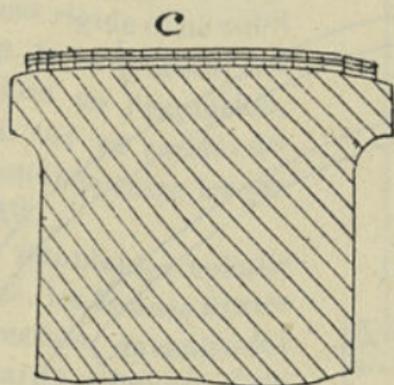


Fig. 53.

même tour ; on peut d'ailleurs donner diverses formes avec bras courbes ou droits, en nombre variable avec le diamètre (fig. 54 et 55). Les sections peuvent également varier (fig. 56 à 58).

Voici, d'après M. Mathot, les avantages qui militent en faveur du volant unique, notamment lorsqu'il s'agit d'actionner une dynamo :

1° Le volant unique facilite l'accès des organes à visiter, tout en impliquant l'emploi d'un troisième palier support qui prévient le porte-à-faux occasionné par les deux volants ordinaires ;

2° Il supprime l'effet de torsion qui se produit

sur le coudé à deux volants quand, lors des mises en marche, arrêts, changements de travail à transmettre, la résistance à la circonférence varie à l'un des volants, tandis que l'autre, par suite de l'inertie, subit l'effort en sens contraire.

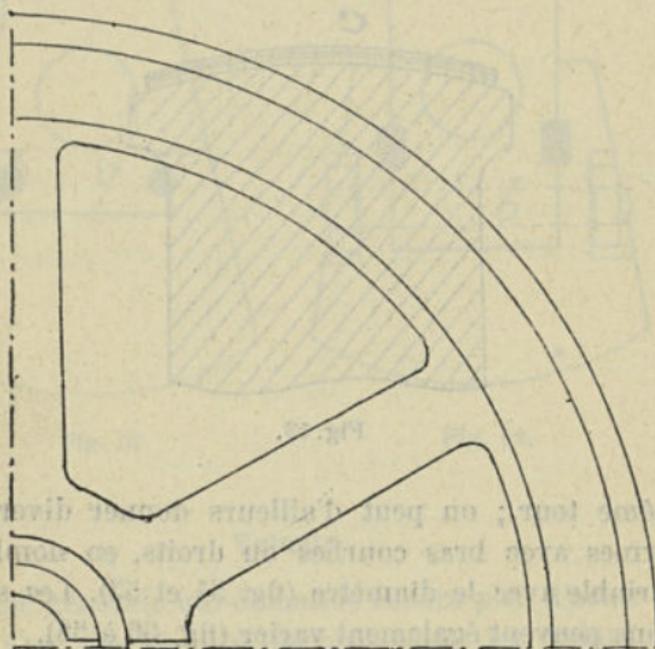


Fig. 54.

Quand il y a deux volants, calés en porte-à-faux aux extrémités de l'arbre, lors des explosions ils voilent vers la jante et font « flamber » les courroies.

Le troisième palier qui accompagne le dispositif

à volant unique, n'est qu'un support indépendant en fonte et reposant sur le bloc de maçonnerie du moteur ; il est solidaire de ce bloc. Le palier sur support indépendant est suffisamment rigide et ne subit aucun effet de la poussée sur le coudé lors de l'explosion, la réaction sur ce coudé demeurant confinée entre les paliers du bâti.

Avec de semblables volants bien étudiés, les bonnes firmes de construction garantissent une régularité cyclique s'approchant sensiblement de celle des meilleures machines à vapeur. Pour un travail variant entre le tiers de la charge et son maximum, quand ces moteurs conduisent une dynamo à courant continu alimentant directement l'éclairage électrique, ils procurent une excellente fixité de la lumière, et les appareils de mesure a périodiques n'accusent pas des variations supérieures à 2 ou 3 0/0 de la tension ou de l'intensité du courant.

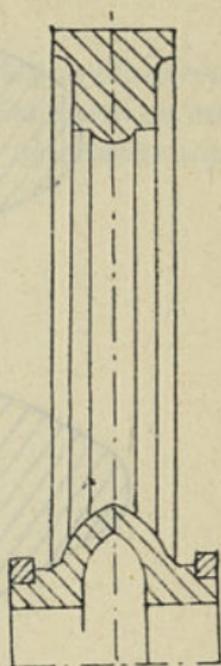


Fig. 55.

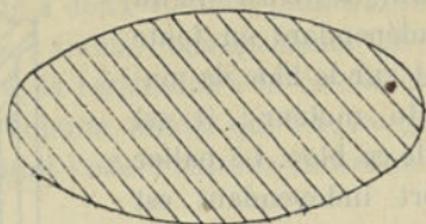


Fig. 56.

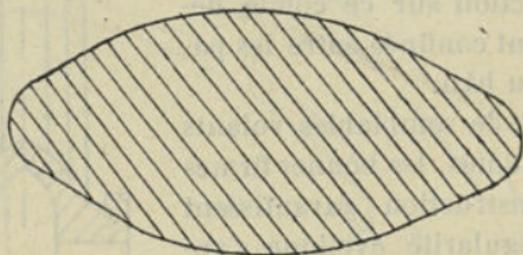


Fig. 57.

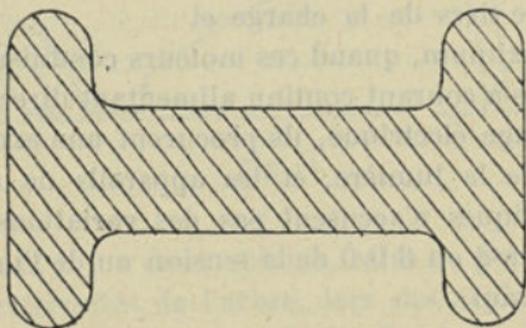


Fig. 58.

Pendules

La majorité des systèmes de régulation s'inspirent du procédé par « tout ou rien », n'exigeant qu'une force insignifiante. Et les organes nécessaires sont

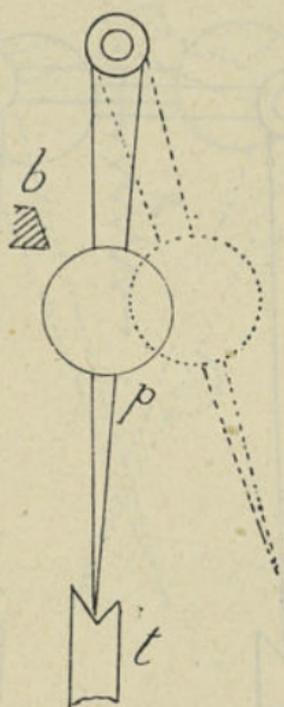


Fig. 59.

également simples, ne demandant que des efforts réduits. A titre clairement démonstratif, citons les régulateurs à pendule qui ont le grand avantage de pouvoir s'adapter à tous les moteurs, des tout

petits jusqu'aux plus gros, supérieurs à 1 000 chevaux dynamiques.

On voit d'abord (fig. 59), le pendule p (commandant la soupape à gaz) déplacé par la pièce b légèrement en avant de sa position de butée avec l'extrémité de la tige l de ladite soupape; puis son propre poids le ramène à son équilibre primitif.

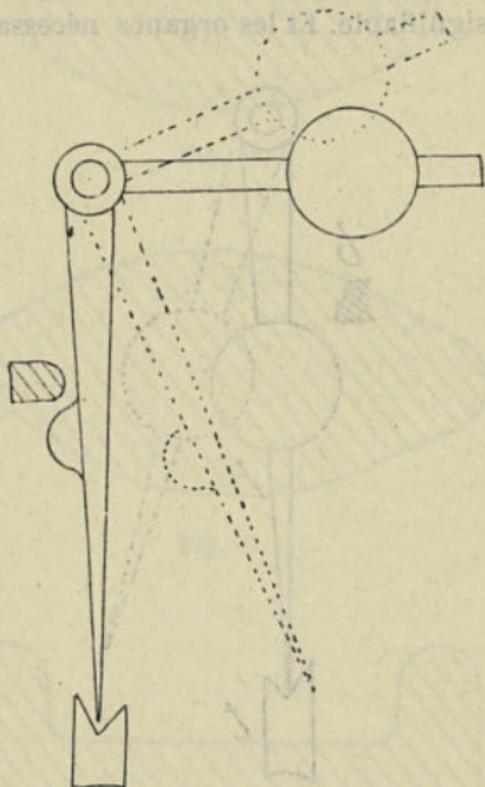


Fig. 60.

dant la soupape à gaz) déplacé par la pièce b légèrement en avant de sa position de butée avec l'extrémité de la tige l de ladite soupape; puis son propre poids le ramène à son équilibre primitif.

Quand le moteur tend à s'emballer, le pendule ne vient plus attaquer le bec de *t*; la soupape à gaz restant close, un ralentissement s'ensuit.

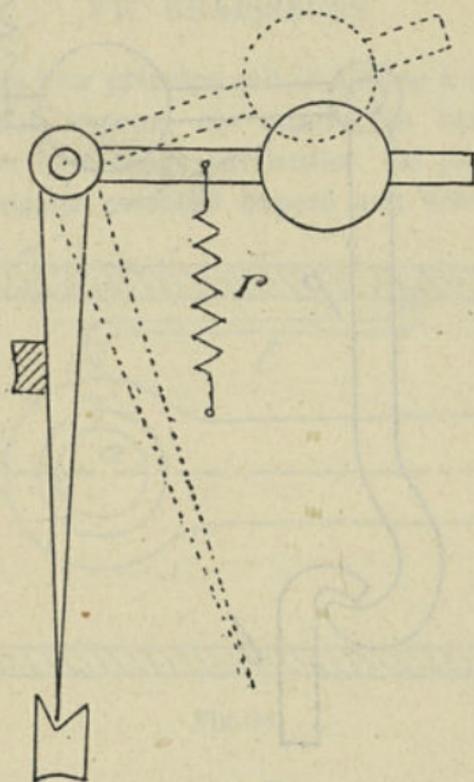


Fig. 61.

La figure 60 montre le dispositif d'un pendule angulaire suspendu.

Quand il est commandé, le pendule (fig. 61) revient à sa position de repos, grâce à la tension du ressort de rappel *r*.

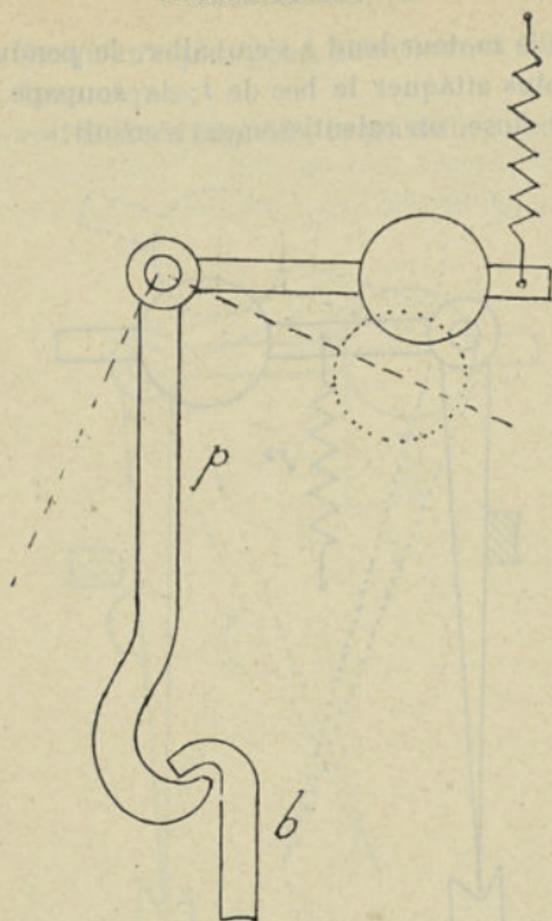


Fig. 62.

Enfin, avec le pendule angulaire à prise par en dessous (fig. 62), le pendule *p* se voit agencé avec la bielle d'échappement *b*. Si le moteur s'emballe, le crochet ne vient plus en prise, et la soupape à gaz demeure fermée pour le ralentissement nécessaire.

Aux détails que nous avons déjà donnés sur les auxiliaires qui suivent (1), nous ajouterons quelques lignes.

VII. GRAISSEURS

Bien que leur principe soit identique à celui des similaires à vapeur, ces auxiliaires varient de forme avec leur usage particulier. En partant du piston, organe essentiel exposé aux très hautes

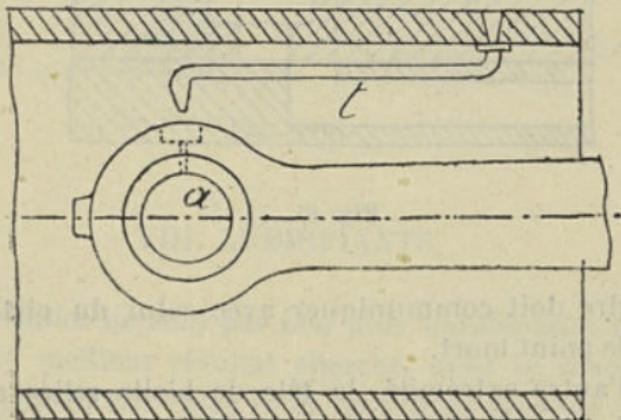


Fig. 63.

températures, il faut que son graissage soit assuré d'une façon régulière et convenable, sans excès et surtout sans manque d'huile. D'après la figure 63, on peut faire coup double, le lubrifiant descendant

(1) Voir l'*Ajusteur-mécanicien*, tome II (ENCYCLOPÉDIE-RORET).

de la périphérie du piston par le petit tube *l* pour tomber goutte à goutte sur l'axe *a*. Ce tube n'est d'ailleurs pas indispensable; car on peut percer directement un trou dans la paroi du piston. Il y a alors une précaution à prendre au sujet de la distance *d*, qui doit correspondre avec une durée variable suivant l'appareil : le trou de graissage du

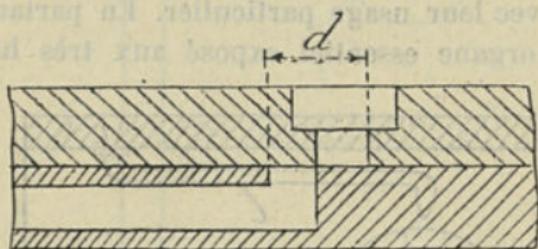


Fig. 64.

cylindre doit communiquer avec celui du piston vers le point mort.

A l'autre extrémité, la tête de bielle reliée au coudé exige une lubrification également bonne; et un système recommandable comporte un anneau creux *a* monté contre la flaque et qui tourne en même temps que son axe et concentriquement; cet anneau se prolonge sous forme de canal *c* dans le coudé, pour déboucher vers l'intérieur du coussinet de la tête de bielle (fig. 65-66).

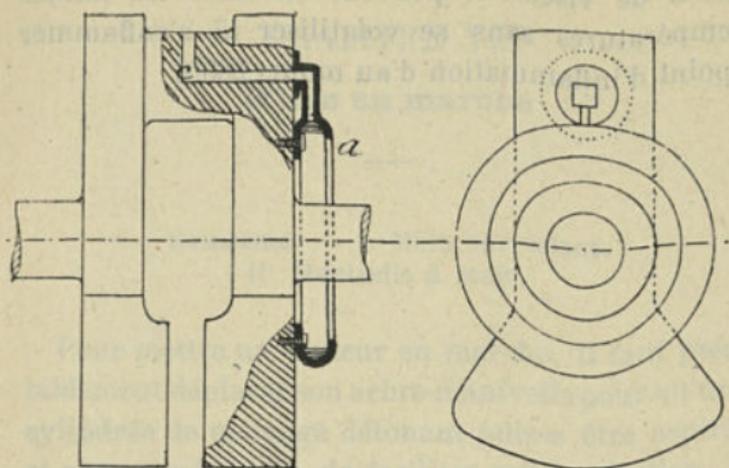


Fig. 65-66.

VIII. LUBRIFIANTS

Les huiles ne sont pas non plus indifférentes en vue du meilleur résultat cherché, dont le rendement peut varier entre 15 et 20 0/0 en plus ou en moins.

Pour les cylindres, on prendra l'huile américaine de préférence à l'huile russe, avec une densité de 0,888 à 17°.

Pour les pistons, le lubrifiant devra être plus particulièrement pur, sans acide et contenant des hydrocarbures qui ne laissent aucun résidu de combustion. Parmi les huiles minérales, seules acceptables, on choisira celles qui, avec un maxi-

mum de viscosité, peuvent affronter les hautes températures sans se volatiliser ni s'enflammer (point d'inflammation d'au moins 280°).



VIII. LUBRIFIANTS

Les huiles ne sont pas des lubrifiants en
un du meilleur résultat obtenu dans le
pour varier entre 15 et 30 O. C. en plus ou en
moins. Les huiles les plus appropriées sont
pour les cylindres en fer et les pistons en
aluminium. Elles sont très visqueuses et
ont une viscosité élevée. Elles sont
pour les pistons en fer et les pistons en
aluminium. Elles sont très visqueuses et
ont une viscosité élevée. Elles sont
pour les pistons en fer et les pistons en
aluminium. Elles sont très visqueuses et
ont une viscosité élevée. Elles sont

CHAPITRE VII

Mises en marche

—

SOMMAIRE. — I. Main sur volant.

II. Manivelle à main.

Pour mettre un moteur en marche, il faut préalablement déplacer son arbre-manivelle pour qu'une cylindrée de mélange détonant puisse être aspirée et comprimée. Afin de faciliter cette opération, la machine doit être totalement débrayée, donc sans aucune charge.

Voyons maintenant comment on peut s'y prendre.

I. MAIN SUR VOLANT

Le conducteur étant posté face au cylindre, il saisit d'une main un bras du volant, tandis que de l'autre il accompagne la jante, en forçant de haut en bas. Il se retire prudemment, dès que les explosions commencent à se produire.

Un procédé analogue et un peu moins dangereux consiste à rapporter des plaques p , ordinairement en forte tôle, entre les bras précédents (fig. 67-68).

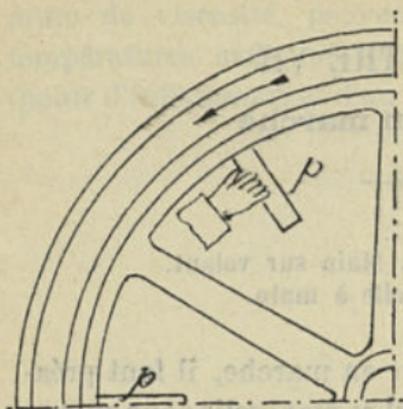


Fig. 67.



Fig. 68.

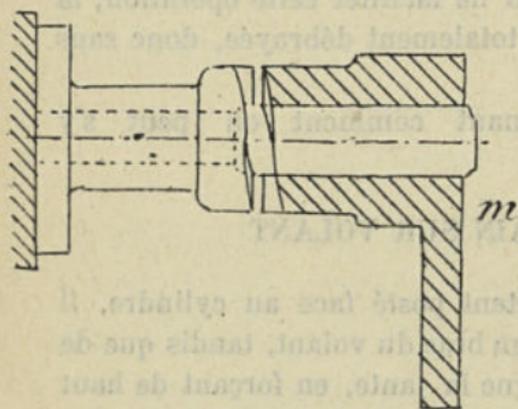


Fig. 69.

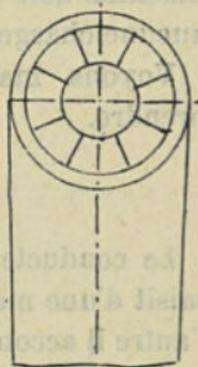


Fig. 70.

II. MANIVELLE A MAIN

Il est préférable de mettre en marche au moyen d'une manivelle à main (fig. 69-70).

Ce dispositif est notamment appliqué aux mo-

teurs d'automobiles. Dès que l'appareil fonctionne, à la première étincelle, la manivelle *m* se débraye automatiquement ; mais elle demeure embrayée en cas d'explosion anticipée avec retour en arrière. Aussi faut-il lui préférer les manivelles de sûreté, malgré leurs complications.

1. TUKATERS DEAN

1. TUKATERS DEAN

La situation de l'eau dans les moteurs à explosion est rigoureusement inadmissible et doit être soigneusement évitée. On veut éviter les grandes quantités d'eau qui y a lieu d'ailleurs de rappeler ici ce que nous avons déjà observé au sujet des installations de chaudières très compliquées pour les appareils dont elles sont plus ou moins le refroidissement. Cet inconvénient est plus particulièrement grave aux passages de la chambre d'explosion où l'eau froide trouve une température souvent très élevée qui provoque ses débris incrustants, incrustations qui non seulement sont mauvaises conductrices, mais encore réduisent le passage de l'eau, la ou en circulation devrait être la plus active. D'où l'indication de ne pas mettre dans un réservoir d'eau un dérivé possible dans un réservoir d'eau.

CHAPITRE VIII

Canalisations

—

SOMMAIRE. — I. Tuyauteries d'eau.
II. Tuyauteries de gaz.

I. TUYAUTERIES D'EAU

La circulation de l'eau dans les moteurs à explosion est rigoureusement indispensable et doit être soigneusement établie si l'on veut s'éviter des ennuis sérieux. Il y a lieu d'ailleurs de rappeler ici ce que nous avons déjà observé au sujet des incrustations de chaudières, très pernicieuses pour les appareils dont elles gênent plus ou moins le refroidissement. Cet inconvénient est plus particulièrement grave aux parages de la chambre d'explosion où l'eau froide trouve une température soudain très élevée qui provoque ses dépôts incrustants, incrustations qui, non seulement sont mauvaises conductrices, mais encore réduisent le passage de l'eau, là où sa circulation devrait être la plus active. D'où l'utilité d'un décantage préalable dans un réservoir approprié.

En supposant une eau de 12 à 15°, il faut prévoir un débit aqueux de 25 à 30 litres par cheval horaire, pour ne pas dépasser 60 ou 65° à la sortie du

cylindre ordinaire ; avec les moteurs à haute compression, il ne faudra point dépasser 45°, ni même 40 (température supportable par la main).

Quand on utilise des réservoirs il faut observer certaines précautions essentielles (fig. 71). C'est ainsi que l'entrée a lieu toujours par le bas et la

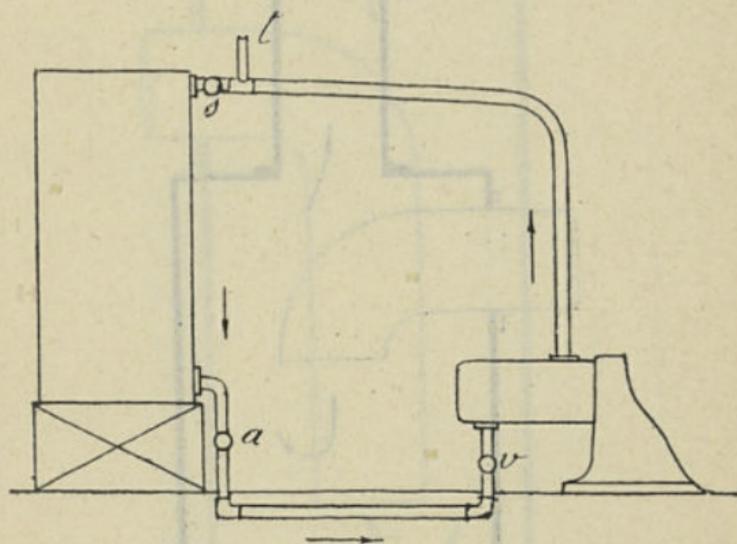


Fig. 71.

sortie vers le haut. La circulation sera réglée par un robinet *a* monté sur la conduite d'arrivée, non loin du cylindre, tandis qu'un autre robinet *s*, à la sortie et près du réservoir, complétera le précédent. Ces deux robinets pourront être fermés pour réparations, gelée, etc., tandis que l'eau intermédiaire sera vidée par *v*. Enfin, un bout de tube *l* restera

constamment ouvert à l'air libre, pour ne pas contrarier l'action de la pression atmosphérique.

II. TUYAUTERIES DE GAZ

Les conduites de gaz doivent être prévues en

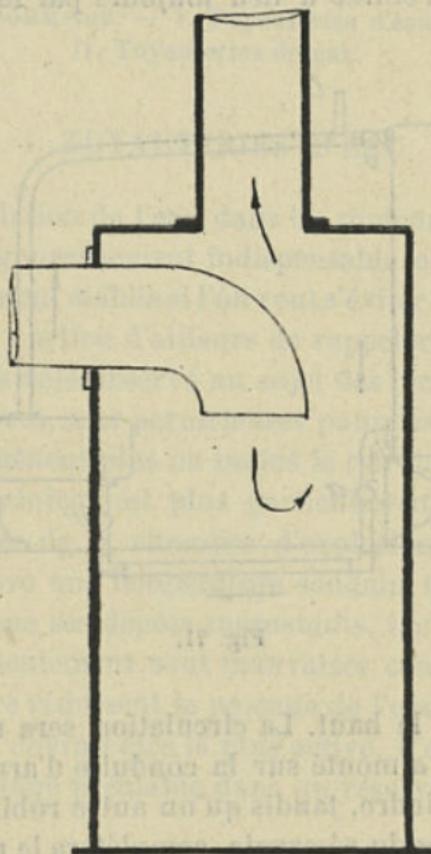


Fig. 72.

rapport de la masse gazeuse à fournir dans chaque

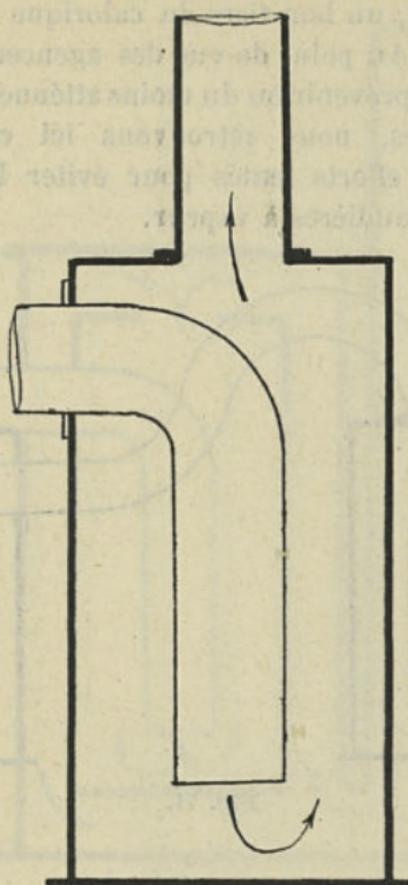


Fig. 73.

course, avec légères majorations eu égard aux poussières de goudron à retirer d'ailleurs périodiquement.

Nous devons consacrer quelques lignes particulières à l'échappement, dont les gaz emportent, à

450 ou 500°, un bon tiers du calorique utilisé par le moteur. Au point de vue des agencements imaginés pour prévenir ou du moins atténuer les bruits désagréables, nous retrouvons ici comme un rappel des efforts tentés pour éviter le primage dans les chaudières à vapeur.

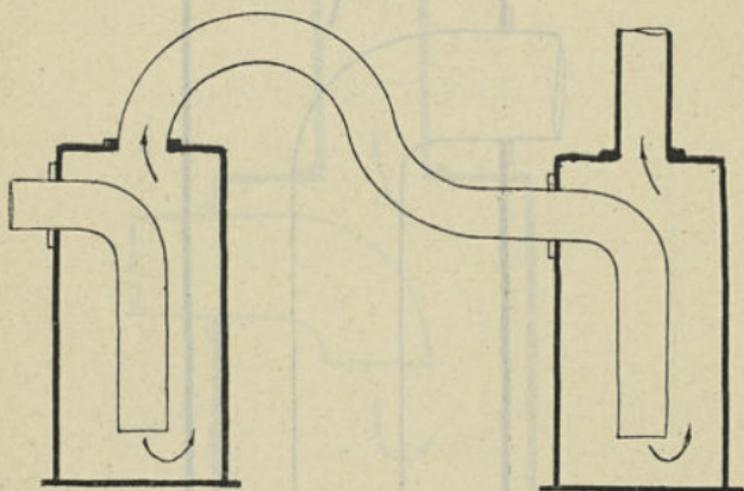


Fig. 74.

Le premier essai (fig. 72) consista à faire descendre le tuyau d'échappement dans un pot cylindrique, d'où les gaz projetés remontaient pour s'évader vers le haut. Ce que l'on compléta aussitôt en allongeant le tube plus rapproché du fond (fig. 73).

Deux pots montés en série (fig. 74) procurèrent un meilleur résultat, mais la contre-pression qui

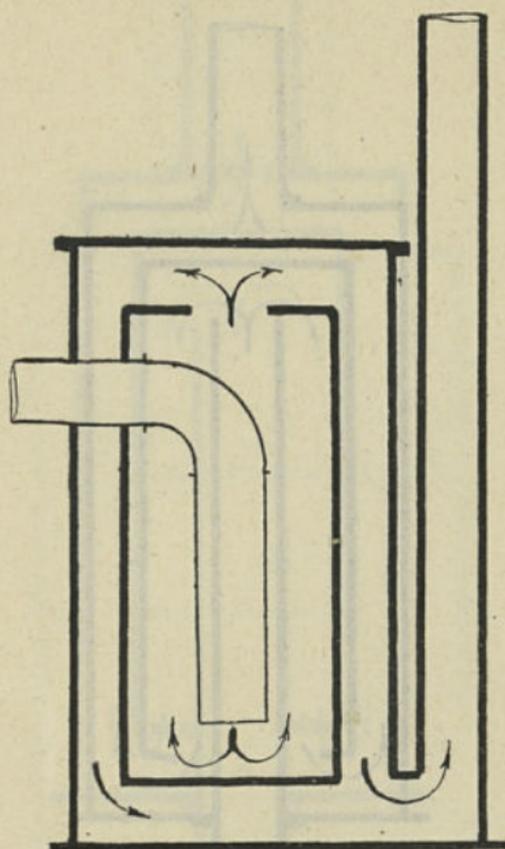


Fig. 75.

s'ensuivit réduisit le rendement des moteurs. Notre projet (fig. 75) ne serait peut-être pas plus économique quoique excellent amortisseur, même si l'échappement débouchait inversé d'abord vers le haut (fig. 76). Mais on n'aurait probablement qu'à se

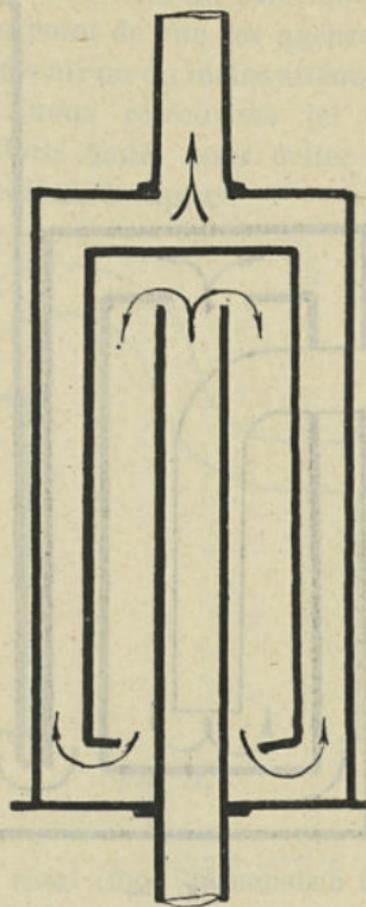


Fig. 76.

féliciter sous tous les rapports si l'on modifiait ce genre en perçant une série de trous de sections suffisantes (fig. 77); ou, peut-être mieux encore, en

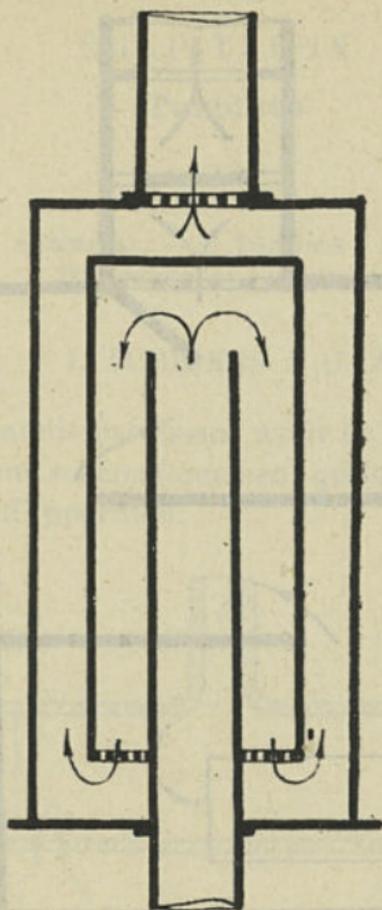


Fig. 77.

couvrant le tout de chicanes qui, sans provoquer la moindre contre-pression, seraient néanmoins assez efficaces pour faire disparaître les bruits désagréables (fig. 78).

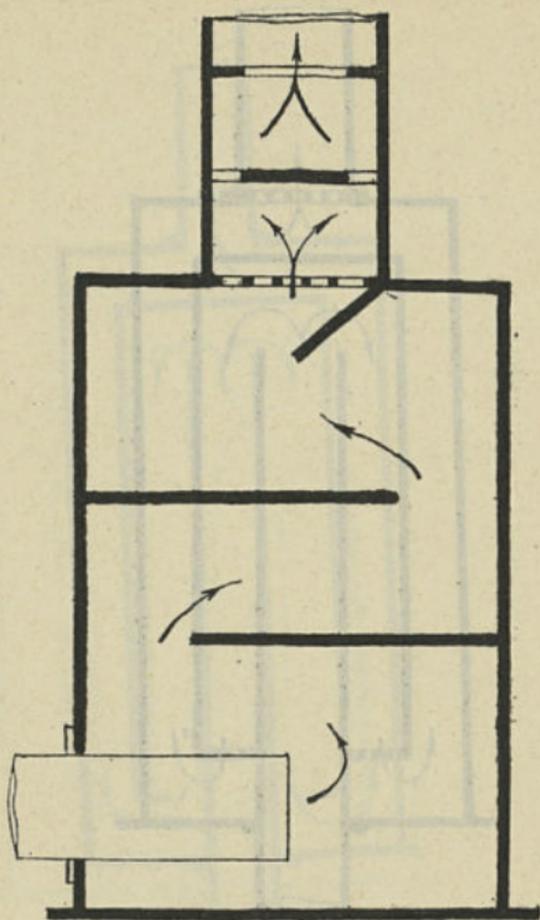


Fig. 78.

Tous projets que nous soumettons, avec leurs variantes pour ainsi dire innombrables, aux intéressés.

CHAPITRE IX

Turbinés

SOMMAIRE. — I. Turbines à gaz.

II. Conférence appropriée.

I. TURBINES A GAZ

Ces appareils paraissant avoir de l'avenir, nous en décrirons schématiquement quelques systèmes, par ordre d'apparition.

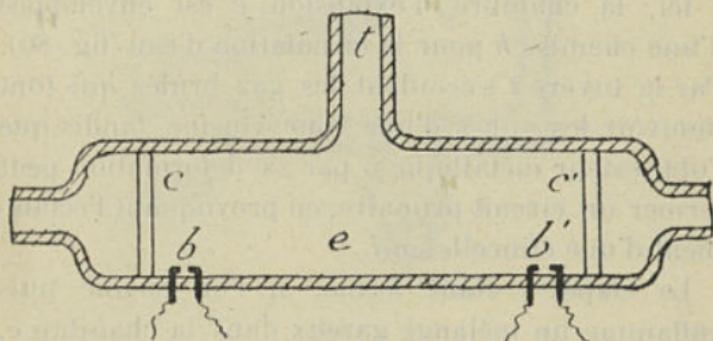


Fig. 79.

Système Esnault-Pelterie

Cette turbine se signale par sa vitesse constante d'écoulement (fig. 79). Sa chambre d'explosion *e* comporte essentiellement un cylindre rétréci à ses

Conducteur de moteurs.

7

deux extrémités qui aboutissent chacune à un carburateur ; et ce cylindre contient deux clapets c, c' avec deux bougies d'allumage b, b' . La tuyère t complète le tout.

Cela posé, si à l'aide d'une pompe on lance par un bout un certain volume d'air carburé, en faisant jaillir une étincelle du côté voisin, on obtiendra une onde explosive aussitôt propagée dans la chambre. L'explosion provoquera une dépression qui fera admettre une nouvelle quantité de mélange. Ainsi, les admissions alternent avec les compressions et les explosions.

Système Armengaud

Ici, la chambre d'explosion e est enveloppée d'une chemise h pour la circulation d'eau (fig. 80). Par la tuyère t s'écoulent les gaz brûlés qui font mouvoir les aubes d'une roue voisine, tandis que l'obturateur métallique o par sa déformation peut fermer un circuit primaire, en provoquant l'éclatement d'une étincelle en i .

Le clapet c étant fermé, si l'on envoie puis enflamme un mélange gazeux dans la chambre e , la dilatation suivie de l'écoulement des gaz par la tuyère créeront une dépression qui fera admettre une nouvelle quantité d'air carburé par r , tandis que l'arrivée d'air ordinaire se fait par a . Après quelques minutes, la tuyère t n'étant pas assez refroidie par l'eau de la chemise h , se trouve portée au rouge. Si, à ce moment, on ouvre le clapet c ,

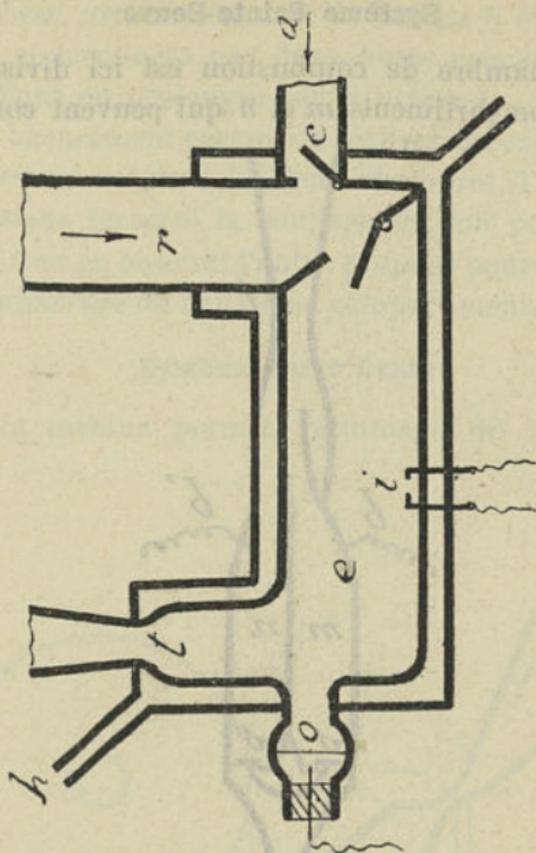


Fig. 80.

l'air extérieur entre aussitôt, puis, au contact de la tuyère se dilate soudain et comprime le mélange gazeux en déformant le diaphragme de l'obturateur. D'où résulte une étincelle suivie d'une explosion, et ainsi de suite.

Système Sainte-Beuve

La chambre de combustion est ici divisée en deux compartiments *m* et *n* qui peuvent commu-

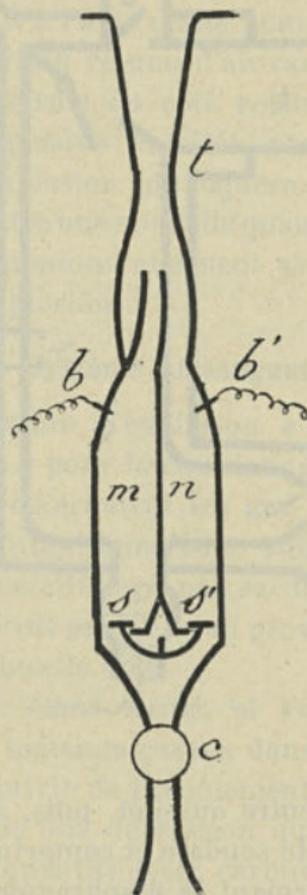


Fig. 81.

niquer avec le carburateur *c*, par l'intermédiaire alternatif des soupapes *s* et *s'* (fig. 81). Ces deux

chambres, armées l'une de la bougie *b* et l'autre de *b'*, se terminent par deux buses concentriques dont l'une est prolongée par la tuyère *t*.

Cet agencement permet de réaliser des explosions successivement dans les deux chambres, l'une des explosions fermant la soupape de son compartiment, tout en ouvrant l'autre soupape pour amener le remplissage du deuxième compartiment.

Systeme Hugo Lentz

Cette turbine permet l'allumage du mélange

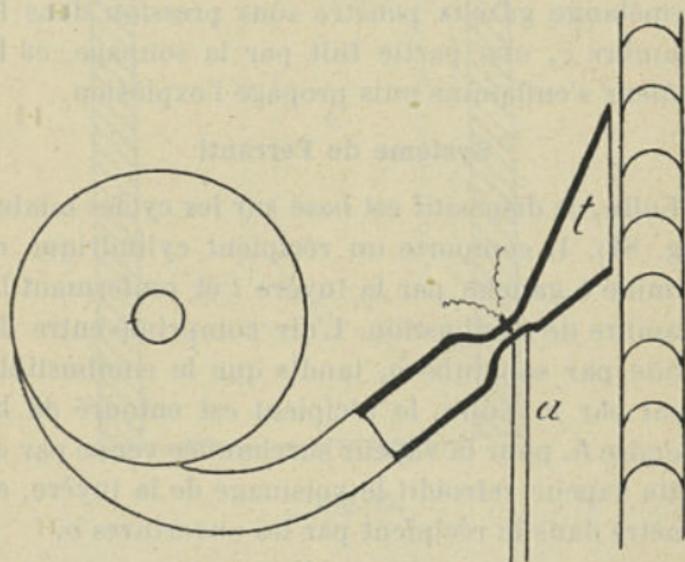


Fig. 82.

comprimé d'air et de vapeur d'hydrocarbure, le plus près possible de la section transversale mini-

mum de l'ajutage (fig. 82). La tuyère *l* est directement reliée au tube d'admission d'air *a*, pour obtenir l'allumage dès la base. Grâce à l'étranglement visible, tout retour de flamme en arrière est impossible.

Système Parent

Dans cet appareil exploité par la Société Dauxin, la chambre de combustion *c* porte dans sa partie supérieure une soupape *s* reposant d'habitude sur son siège (fig. 83). La dérivation *d* du tube d'essence communique avec le brûleur *b*; et dès que le mélange gazeux pénètre sous pression dans la chambre *c*, une partie fuit par la soupape, et le brûleur s'enflamme puis propage l'explosion.

Système de Ferranti

Enfin, ce dispositif est basé sur les cycles mixtes (fig. 84). Il comporte un récipient cylindrique *r*, terminé à gauche par la tuyère *l* et renfermant la chambre de combustion. L'air comprimé entre de droite par son tube *a*, tandis que le combustible vient par *c*. Enfin, le récipient est entouré de la chemise *h*, pour la vapeur surchauffée venue par *e*. Cette vapeur refroidit le voisinage de la tuyère, et pénètre dans le récipient par les ouvertures *o*.

II. CONFÉRENCE APPROPRIÉE

Nous allons maintenant résumer une intéressante conférence faite par M. Holzwaitts, à l'assemblée

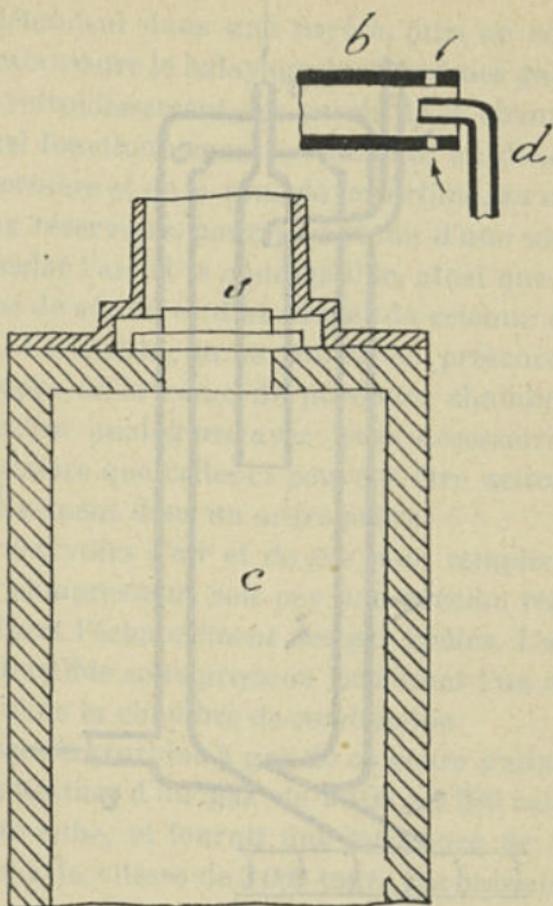


Fig. 83.

générale « der Schiffbautechmischen Gesellschaft », les 23 et 24 novembre 1911.

Dans certaines turbines à gaz, le combustible est comprimé à une pression supérieure à celle

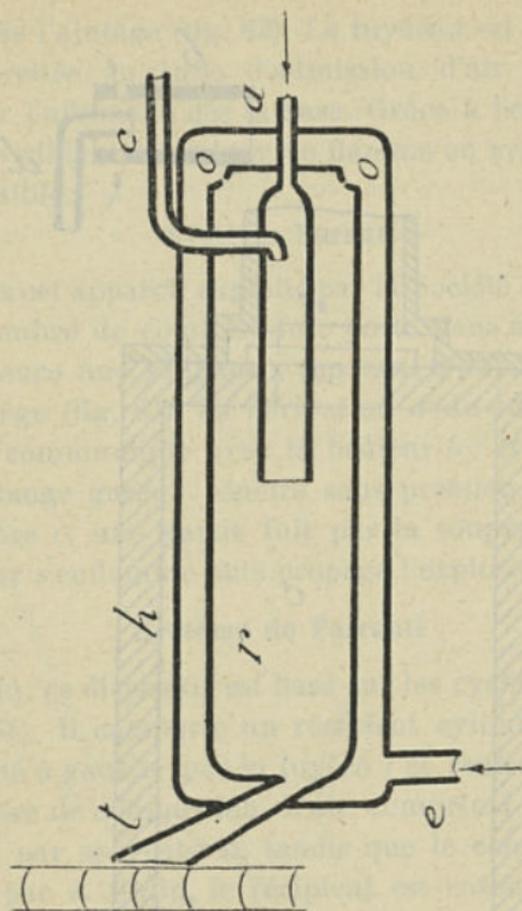


Fig. 84.

réalisée pendant la combustion, puis est amené dans une chambre dite de combustion, refroidie par de l'eau, où il brûle régulièrement. Au contraire, l'orateur emplit par intervalles la chambre de combustion de sa turbine, avec un mélange combustible d'air et de gaz ; les gaz brûlés s'échappent

et se détendent dans une tuyère, puis un courant d'air frais assure le balayage de ces mêmes gaz ainsi que le refroidissement des parois de la chambre.

Un tel fonctionnement est obtenu, en dehors de cette dernière et de la roue de la turbine, au moyen de deux réservoirs, pourvus chacun d'une soupape pour régler l'air et le combustible, ainsi que d'une soupape de sûreté et d'un clapet de retenue sur la tuyère. En réalité, on se trouve en présence, sur l'enveloppe de la roue, de plusieurs chambres de combustion analogues avec leurs accessoires, de telle manière que celles-ci peuvent être actionnées successivement dans un ordre prévu.

Les réservoirs d'air et de gaz sont remplis, soit par un compresseur, soit par une succion réalisée en utilisant l'échappement des gaz brûlés. L'air et le combustible sous pression pénètrent l'un après l'autre dans la chambre de combustion.

La première turbine à gaz de ce genre s'alimente par l'aspiration d'un gaz de 1 100 à 1 200 calories au mètre cube, et fournit une puissance de 1 000 chevaux à la vitesse de 3 000 tours par minute. La partie inférieure de son bâti affecte la forme d'une couronne munie de dix chambres de combustion, tout en supportant la dynamo avec ses paliers et accessoires. La turbine proprement dite se compose d'une roue à deux couronnes, montée dans la partie basse de l'arbre, libre de se déplacer et sans le moindre contact possible avec la couronne des chambres de combustion.

La pression développée par les gaz est inférieure à celle des moteurs à piston; ce qui permet de construire le bâti avec épaisseurs réduites. Celui en question pèse 17 tonnes, et 23 tonnes tout équipé (mais sans la dynamo et la soufflerie), alors qu'un moteur à gaz de même puissance atteint 140 000 kilog.

Au nombre de trois par chambre de combustion, toutes les soupapes sont commandées par un tiroir-piston actionné à l'huile pressée; tiroir lui-même solidaire du régulateur par l'intermédiaire d'un arbre horizontal, que relie au principal un engrenage à vis sans fin. Cet arbre horizontal porte encore un régulateur principal qui, grâce à un servomoteur, actionne, dans une section de sa course, une soupape pour régler l'introduction du gaz; puis, dans l'autre section, anime un dispositif permettant de mettre individuellement en marche chaque chambre de combustion. Et l'on complète l'équipement avec un régulateur de sûreté embrayant ou débrayant les allumages électriques, plus ces appareils d'allumage et un tachymètre.

A la suite de ses essais, cette turbine a prouvé que la récupération réalisée en utilisant les gaz d'échappement dans une soufflerie, ne réduisait pas la puissance utile. D'autre part, la température initiale du mélange avant l'allumage exerce une grande influence sur le cycle de travail, donc sur le rendement final. Plus cette température est élevée, plus vite on obtient une certaine pression critique

qui amène, non un échappement normal, mais une combustion brusque effectuée sous une augmentation de pression importante et si rapide qu'on ne peut plus l'utiliser dans la tuyère. Même quand la pression des gaz lors de l'introduction est faible et que leur température initiale est un peu trop élevée, lorsqu'une certaine partie de la charge est brûlée, on peut atteindre la pression critique signalée, et à ce moment, le reste des gaz non brûlés contenus dans la chambre de combustion brûle en produisant une augmentation soudaine de pression.

D'autre part, les essais ont donné lieu à divers mécomptes résultant de la forme défectueuse de la tuyère; dans ses grandes lignes, celle-ci doit être établie pour l'utilisation des pressions développées dans la chambre de combustion, en tenant compte de ce fait que les pressions données par la théorie ne sont réalisées qu'avec des charges de gaz faibles. Ces essais ont en outre montré que les turbines à gaz peuvent être alimentées avec des combustibles liquides de toutes sortes; il suffit de remplacer la soupape d'introduction du gaz placée sur la chambre de combustion par une aiguille d'introduction du combustible.

Quand on alimente la turbine à gaz avec du pétrole, des huiles légères ou de l'huile lourde de goudron de houille, la température dans la chambre de combustion doit atteindre au moins 400° pour que l'on soit certain de réaliser une combustion

complète. — Par contre, les essais effectués avec la poussière de charbon ont donné de mauvais résultats.

Opinion de M. Lomale

(Extrait abrégé de la *Technique Moderne*)

La réalisation pratique de la turbine à pétrole (quelque simple qu'elle paraissait au début), renfermait des difficultés mécaniques que seule l'expérience pouvait résoudre. Evidemment, les succès simultanés du moteur alternatif à pétrole et de la turbine à vapeur conduisaient naturellement à penser que la combinaison des deux machines produirait le moteur idéal. Il s'agissait, en effet, d'alimenter une turbine à vapeur, machine connue, avec des gaz sous pression provenant d'une combustion, pour que le problème fût résolu. Les moteurs à gaz pauvre fonctionnent à peu près de la sorte; nous disons donc gaz de combustion et non pas d'explosion, car la distribution dans une turbine exige un régime régulier et constant. Alimenter une turbine avec des explosions serait créer une détente variable entre la pression d'amont et la pression d'aval dans la tuyère; et comme celle-ci n'est établie que pour une différence de pression bien déterminée, le rendement de cet organe (déjà médiocre transformateur) deviendrait nettement mauvais; l'énergie du jet serait transformée partiellement en chocs et tourbillons perdus. On pouvait songer aussi à réunir plusieurs chambres

d'explosions pour alimenter un réservoir intermédiaire établissant un régime moyen de pression; on conçoit que les soupapes nécessaires entre les chambres d'explosion et le réservoir compensateur n'auraient pu que difficilement fonctionner d'une façon régulière; d'autre part, il semble peu avantageux d'emmagasiner de la chaleur dans un récipient, car, selon l'expression de M. Witz, elle disparaît aussi vite qu'elle a été créée. On doit donc reconnaître que seule la combustion continue à pression constante peut convenir pour alimenter une turbine. Dans ce cas, la turbine à vapeur peut devenir turbine à gaz sans modifications essentielles.

La turbine à gaz présente certains avantages appréciables sur la turbine à vapeur et le moteur alternatif à pétrole :

1° Sur la turbine à vapeur, le générateur de fluide est beaucoup moins encombrant, et la manipulation du pétrole bien plus simple que celle du charbon; l'avantage principal subsiste encore quand les foyers des chaudières sont chauffés au pétrole.

2° La turbine à gaz est préférable au moteur à pétrole pour les raisons suivantes :

a) Elle peut utiliser une détente très prolongée comme le moteur Diesel et au delà, en employant le vide en aval;

b) Elle s'adapte d'autant mieux que sa puissance augmente, et elle devient intéressante au moment

où le moteur alternatif à pétrole cesse de donner de bons rendements;

c) Elle ne comporte que peu d'organes mobiles.

Par contre, on peut lui reprocher d'avoir un rendement inférieur à celui d'un moteur alternatif à pétrole marchant dans les mêmes conditions de pression de combustion et de détente, parce que le rendement organique d'une turbine est inférieur à celui d'un moteur alternatif, et aussi parce que la compression préalable est effectuée dans un appareil indépendant.

Au point de vue pratique, toute la question est de savoir si, dans l'état actuel des expériences, on peut arriver à distribuer à une turbine quelconque un flux continu de gaz sous pression et si le rendement d'une telle turbine peut être acceptable pratiquement. Pour s'en rendre compte, nous décomposerons la machine en ses divers éléments, et nous examinerons ce qui a été obtenu avec chacun d'eux.

Une turbine à gaz se compose essentiellement : 1° de la turbine motrice; 2° d'un générateur continu sous pression; 3° du compresseur d'air.

1° Comme il a été dit, la motrice n'est autre que la turbine à vapeur connue de tous; elle n'a pas à recevoir de dispositifs particuliers relatifs à l'alimentation par gaz; les dimensions de ses organes tels que tuyères, aubes directrices, sections d'écoulement, etc., doivent être appropriées selon les lois de la thermodynamique et de l'expérience. La

température élevée produite par la combustion du pétrole n'est pas un obstacle insurmontable, car il suffit de refroidir les gaz avant leur admission dans la turbine, afin que leur température soit sensiblement celle de la vapeur surchauffée, 400° par exemple.

Pour améliorer le rendement de la turbine à gaz, il y aura tendance à marcher avec température plus élevée; il semble qu'on peut déjà le faire sans crainte, grâce aux progrès de la métallurgie : on connaît les aciers au tungstène et au vanadium (aciers rapides), dont la résistance est encore élevée à 600°. Ces aciers sont ordinairement employés pour l'usinage des métaux et travaillent au rouge sans se détériorer. Sans escompter actuellement l'emploi de ces aciers spéciaux, il est permis de supposer qu'ils seront d'un usage courant quand la turbine à gaz en aura besoin...

2° De son côté, le générateur à pression constante doit alimenter la turbine à une température déterminée par le degré de détente (700 à 900°). Pour obtenir cette température de combustion, deux moyens se présentent : soit ajouter un certain excès d'air, afin que la combustion n'atteigne que cette température; soit réaliser une combustion à la plus haute température possible, puis refroidir les gaz par un mélange d'eau qui se vaporise à leur contact.

3° Enfin, le compresseur d'air est un ventilateur multicellulaire, qui se prête fort bien aux grandes

vitesse des turbines. En réunissant ces deux appareils sur un même arbre, on obtient un groupe très simple et très pratique...

Essais. — De nombreuses expériences furent exécutées avec une turbine moderne, pour étudier les bonnes conditions de combustion, les dispositifs de réglage, les courbes de détente dans les tuyères, les températures de combustion, les températures amont et aval des gaz en fonction des pressions, les proportions du mélange en air, eau et pétrole en fonction des températures avant détente.

L'installation permettait de mesurer à tout instant les poids d'air, d'eau et de pétrole consommés, la puissance au frein, la température avant et après détente, etc. En résumé, on a recherché expérimentalement tous les coefficients utiles pour généraliser la théorie des turbines à gaz.

Applications. — La turbine à gaz tirant un grand avantage de son alimentation en combustible pétrolifère, doit s'appliquer de préférence là où l'emploi du pétrole est recherché et dans les pays qui le produisent en abondance. Une récente communication de M. Bochet à la Société des Ingénieurs civils rendait compte des avantages que présentait le moteur Diesel dans la navigation, et donnait des indications sur le développement pris par ce moteur. En raison des mêmes avantages et d'autres que possède la turbine à gaz, il semble donc que là devrait être aussi son principal débouché.

Un de ces moteurs Diesel fut construit pour une

puissance de 800 HP, comprenant 4 cylindres et tournant à 140 tours par minute ; comme dimensions : 5^m50 de hauteur, 10^m60 de longueur, 4^m80 de largeur ; poids, 170 000 kilogr. Une turbine à gaz de 500 HP occuperait un volume moitié moindre, et son poids ne dépasserait guère 20 000 kilogr., réalisant ainsi un bénéfice considérable ; cette turbine tournerait à 900 tours et ne nécessiterait aucun réducteur de vitesse.

Les efforts considérables supportés par le piston et le cylindre dans le modèle Diesel semblent indiquer que c'est la limite de puissance qu'on puisse envisager par cylindre. On parle cependant d'appliquer ce moteur à des unités plus fortes atteignant 6 000 HP pour les contre-torpilleurs et même 30 000 HP pour les gros bâtiments.

En examinant seulement le cas du moteur de 6 000, il faudrait adapter une ou plusieurs machines ayant par conséquent une trentaine de cylindres. Or, il est à supposer que, dans ce cas, la turbine à gaz remplirait mieux le but. Les expériences de longue durée auxquelles cette dernière fut soumise, prouvent qu'elle est capable d'assurer un fonctionnement régulier et économique.

Appliquée à la torpille automobile, la turbine à gaz donne à l'engin une valeur considérable en doublant sa puissance et son parcours. Les essais remarquables qui viennent d'être effectués lui assurent la prépondérance pour cette première application.

CHAPITRE X

Grands moteurs pour électricité

SOMMAIRE. — I. Emploi des grands moteurs à gaz. — II. Chaudières pour l'installation à vapeur. — III. Bâtimens et fondations. — IV. Installation d'excitation, de distribution, etc. — V. Frais d'exploitation. — VI. Exemples d'installation. — VII. Analyse de la discussion.

Nous intercalerons ici une très intéressante communication présentée à l'*Institution of Electrical Engineers*, en 1909, par MM. Andrews et Porter et dont nous résumerons la traduction parue dans le Bulletin technologique des Arts et Métiers (G. Sauveau).

I. EMPLOI DES GRANDS MOTEURS A GAZ

Cette application a jusqu'ici été limitée notamment aux usines métallurgiques où on les alimente avec les gaz de hauts fourneaux et autres gaz perdus. En Allemagne, la construction des grands moteurs à gaz est au contraire une industrie propagée sur une vaste échelle. Déjà, en 1906, sur cinquante fonderies, quarante-deux possédaient des moteurs à gaz ou en avaient décidé l'installation ; les moteurs fonctionnant à cette époque dépassaient 300 000 HP. Et l'on peut constater que l'industrie

métallurgique allemande a fortement contribué aux progrès du grand moteur à gaz.

L'emploi de ces moteurs dans la commande des puissantes génératrices électriques, est une question qui reçoit également une vaste diffusion aux Etats-Unis. Il y a quelques années, la *National Electric Light Association* désigna un Comité spécial chargé de dresser un rapport à ce sujet, rapport qui fut présenté à l'Association durant son congrès de Chicago (mai 1908). En plus des très intéressantes descriptions de quelques grands moteurs à gaz américains, ce rapport contient plusieurs réponses aux questions posées à quelques grands industriels employant de ces grands moteurs, et concernant la puissance des unités, les quantités de gaz, d'huiles, d'eau de refroidissement, etc., ainsi que la nature des troubles survenus. Des tableaux fournissent également le coût mensuel des réparations pour chacune des installations et les appréciations des industriels sur les questions de mise en parallèle, continuité ou uniformité de service, sécurité et économie comparativement à une installation à vapeur. Bien que ces réponses, très intéressantes et très instructives, montrent que dans certains cas des troubles se sont produits, aucun d'eux ne paraît de nature insurmontable. Et il est utile de remarquer que la majorité des industriels sont tout particulièrement favorables aux moteurs à gaz, sous le rapport aussi bien de la sécurité que de l'économie,

Très volumineux, le rapport du Comité se termine par un intéressant résumé dont on peut saisir le sens général d'après les extraits qui suivent :

« ... Le haut rendement thermique de l'ensemble gazogène et moteur à gaz doit attirer l'attention de toutes les compagnies employant du combustible pour la production de leur force motrice, et les progrès du moteur à gaz avec ceux du gazogène devraient par conséquent recevoir l'examen sérieux de tous les industriels ».

Puis :

« ... Le rendement de l'ensemble (moteur et gazogène) est plus élevé que celui de l'ensemble chaudière et machine à vapeur ou chaudière et turbine à vapeur...

« ... Il y a jusqu'à ce jour dans ce pays (Etats-Unis), sous forme de puissantes unités installées ou en construction, plus de 300 000 chevaux...

« ... L'énorme placement indiqué précédemment montre avec quelle assurance on considère la sûreté de fonctionnement du moteur à gaz...

« ... L'uniformité de marche peut être réalisée sans une plus grande surveillance que celle nécessitée par les machines à vapeur de même puissance...

« ... Bien que le Comité croie que le prix des moteurs à gaz dépasse actuellement de beaucoup celui des machines à vapeur de mêmes puissances, il pense également qu'il est possible d'établir une

installation de gazogène et moteur à gaz sans que la dépense globale dépasse celle entraînée par une installation de chaudière et machine à vapeur, quand tous les auxiliaires et bâtiments sont compris dans l'évaluation ».

Au cours d'un récent voyage qu'ils firent aux Etats-Unis, l'un des auteurs eut la bonne fortune de rencontrer le président du Comité spécial dont il est question et il obtint de lui, ainsi que d'autres ingénieurs compétents, de nombreux et utiles renseignements pour la plupart fournis dans la présente étude. L'opinion personnelle des auteurs est que les grands moteurs à gaz trouveront, dans la commande des générateurs électriques, un champ d'application important; mais, selon eux, la supposition qui a été faite que le moteur à combustion interne supplanterait entièrement, dans un avenir prochain, le moteur à combustion externe, n'est pas actuellement justifiée.

Aussi loin que nos connaissances techniques permettent de l'établir, la position peut être brièvement résumée ainsi :

a) Le moteur à combustion interne est beaucoup plus économique que tout moteur à combustion externe connu jusqu'à présent ;

b) Les frais de premier établissement d'une installation de gazogène et moteur à gaz sont plus élevés que ceux d'une installation de chaudière et de turbine à vapeur de capacité de surcharge équivalente ;

c) Il n'y a aucune différence sensible dans la sécurité de marche ou dans les frais de personnel, entretien et réparations, des systèmes respectifs;

d) Par suite, dans les cas où le combustible est bon marché et le facteur de charge peu élevé, ce serait généralement une faute d'employer les moteurs à gaz; au contraire, si le facteur de charge est élevé ou le combustible cher, les moteurs à gaz seront incontestablement les plus économiques;

e) La plupart des cas qui se présenteront seront compris entre ces deux extrêmes, et les ingénieurs qui auront à établir les stations centrales futures devront considérer beaucoup de points avant de décider définitivement si les moteurs primaires actionnant les génératrices électriques seront à vapeur ou à gaz, ou encore une combinaison de ces deux systèmes.

C'est ce problème difficile que les auteurs se sont proposé d'éclaircir en réunissant un grand nombre de faits de sources différentes, et en appliquant les renseignements obtenus à un ou deux projets hypothétiques de stations centrales ressemblant autant que possible aux centrales modernes. Dans un but de comparaison, ils ont essayé de montrer ce que seraient respectivement les dépenses totales de production d'énergie électrique avec turbines à vapeur et avec moteurs à gaz dans les conditions ci-après spécifiées.

Hypothèses :

1° La charge maximum à laquelle on devra satisfaire sera de 8 000 kilowatts ;

2° La capacité de surcharge et de réserve de l'usine sera telle, qu'elle puisse supporter la charge maximum de 8 000 kilowatts durant au moins deux heures, alors même que l'un des groupes de l'installation viendrait à se déranger, une unité étant déjà arrêtée pour la visite ;

3° L'énergie produite est utilisée pour l'éclairage public et privé, pour les tramways et pour des moteurs d'industries diverses ; le facteur de charge (ou coefficient d'utilisation), c'est-à-dire :

$$\frac{\text{Kilowatts-heure vendus} \times 100,}{\text{Demande maximum} \times 8760},$$

est égal à 24 0/0 ; le rendement de la distribution, c'est-à-dire :

$$\frac{\text{Kilowatts-heure vendus} \times 100,}{\text{Kilowatts-heure produits}},$$

est égal à 80 0/0.

4° Le prix d'un bon charbon fin bitumineux, ayant un pouvoir calorifique de 6 670 calories est de 15 francs la tonne anglaise, livré à la station.

Choix de l'emplacement

Les détails à considérer sont à peu près les mêmes pour les deux genres d'installation, à gaz ou à vapeur, savoir :

- a) Source abondante d'eau de refroidissement;
- b) Transport du combustible;
- c) Position relative de l'emplacement de la station et du centre de l'aire de distribution, ce point devant influencer sur les prix des feeders;
- d) Risques de dommages envers les propriétés voisines;
- e) Bon marché du terrain;
- f) Frais de construction des fondations pour bâtiments, machines, etc.

Dans le choix d'un emplacement pour station de turbines à vapeur, il est souvent bon de sacrifier certains avantages pour se trouver à proximité d'une source abondante d'eau froide destinée à la condensation.

Mais ce dernier avantage est en général lourdement payé et en dernier lieu il est plus que probable que l'emplacement dont on disposera ne sera pas excellent au point de vue de ce que les ingénieurs américains nomment le *centre électrique de gravité*, c'est-à-dire que le prix des feeders sera probablement beaucoup plus élevé que si l'on avait choisi une position plus centrale.

Il est donc souvent bien plus économique d'installer des réfrigérants pour l'eau de condensation.

Comme il serait impossible de fixer les dépenses qu'entraînerait le choix d'un emplacement avec eau froide abondante, en raison des variations énormes de ces dépenses suivant les cas, les auteurs

basèrent leur comparaison sur l'hypothèse qu'on emploierait des réfrigérants, l'eau nécessaire provenant d'une distribution publique.

Type d'installation génératrice

Pour l'installation à vapeur, on a supposé qu'on emploierait des turbines du type horizontal, directement accouplées à des génératrices triphasées; que chaque turbine se déchargerait dans un condenseur à surface et contre-courant distinct, placé immédiatement au-dessous de la turbine; que l'eau de refroidissement serait prise sur la distribution d'une ville et mise en circulation par des pompes centrifuges à commande électrique jusqu'aux tours de refroidissement, ou réfrigérants à cheminée, à tirage naturel, une pompe distincte étant installée pour chaque unité.

Pour l'installation à gaz, on a admis que les moteurs seraient du type tandem à double effet à quatre temps et à faible vitesse, directement accouplés à des génératrices triphasées avec volant en porte-à-faux. L'eau de refroidissement des moteurs proviendrait, comme dans le précédent cas de l'installation à vapeur, de l'alimentation d'une ville, et serait mise en circulation au moyen d'un petit piston commandé par l'arbre à manivelle du moteur; elle serait refroidie dans des réfrigérants à cheminée avec tirage naturel.

Puissance des unités génératrices

L'expérience a prouvé que, dans les installations à vapeur, les puissantes unités sont considérablement plus économiques, à la fois comme frais de premier établissement et comme frais d'exploitation, que les faibles unités ; et comme on peut aujourd'hui les obtenir en dimensions beaucoup plus grandes que pour les moteurs à gaz, elles ont, dans certains cas, un avantage considérable sous ce rapport. Il est possible, par exemple, d'obtenir des unités de dimensions telles qu'un seul groupe serait capable, avec sa capacité de surcharge, de fournir le débit maximum spécifié de 8 000 kilowatts. Toutefois, pour se conformer à l'hypothèse admise quant à la capacité de surcharge, il serait nécessaire d'installer deux unités supplémentaires de même dimension ; il en résulterait que la capacité de réserve serait hors de proportion avec la demande maximum et les dépenses de premier établissement seraient considérablement plus grandes qu'avec l'emploi de plus faibles unités.

Pour un débit maximum de 8 000 kilowatts, il semble que le choix d'unités le plus économique consisterait à prendre cinq groupes ayant chacun une puissance normale de 2 000 kilowatts avec capacité de surcharge de 33 0/0 durant deux heures. Dans le cas d'arrêt simultané de deux groupes, les trois groupes restants seraient alors capables de satisfaire à la demande maximum de 8 000 kilo-

watts pour une période de deux heures, comme spécifié.

La puissance des unités de moteurs à gaz est actuellement limitée à environ 1 500 HP par cylindre. Quatre cylindres analogues, montés en double tandem, donneraient une puissance totale de 6 000 HP, soit 4 000 kilowatts. Les arguments qui s'opposent à l'emploi des très puissantes unités à vapeur s'appliquent également aux unités à gaz. En fait, pour le projet considéré, il ne semble pas recommandable d'adopter des unités dépassant 2 000 kilowatts : la capacité de surcharge des moteurs à gaz n'étant que de 10 à 12 0/0, trois groupes de 2 000 kilowatts ne pourraient satisfaire qu'à une demande maximum de 6 600 à 6 700 kilowatts, et par conséquent six unités de cette puissance seraient nécessaires pour remplir les conditions spécifiées de demande maximum et de puissance de réserve. Une installation plus économique consistera en sept génératrices ayant une puissance normale de 1 450 kilowatts chacune et une puissance de surcharge de 1 600 kilowatts : si deux génératrices étaient arrêtées simultanément, les génératrices restantes seraient capables de satisfaire à la demande maximum de 8 000 kilowatts durant deux heures, ainsi qu'il est spécifié.

Moteur simple tandem ou double tandem

Passant au choix du moteur, nous dirons que le seul avantage de la combinaison double tandem

sur celle en simple tandem semble consister en ce que, avec un moteur à quatre temps, l'arbre manivelle recevra quatre impulsions par tour au lieu de deux. Il est dès lors évident que pour un effet donné de volant, le coefficient d'irrégularité (1) sera beaucoup plus grand avec le simple qu'avec le double tandem.

(1) Notons la définition de ce *coefficient d'irrégularité*. — A cause de la variation de l'effort moteur et de la variation de l'angle de calage de la bielle sur la manivelle, l'arbre de la machine prend, pendant la durée d'un tour, des vitesses angulaires oscillant entre une valeur maximum V_{max} et une valeur minimum V_{min} : le coefficient d'irrégularité est alors représenté par le quotient (V_m étant la vitesse moyenne) :

$$\frac{1}{K} = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_m}$$

On voit que ce quotient (dont l'inverse K est le *coefficient de régularité*) exprime, en pourcentage de la vitesse moyenne, la moitié de l'écart entre la vitesse angulaire maximum et la vitesse angulaire minimum : c'est donc la variation de vitesse angulaire en plus ou en moins de la normale.

Une telle valeur du coefficient d'irrégularité a été admise par la Société internationale des électriciens ; mais certains auteurs — et c'est le cas dans l'étude actuelle — donnent le nom de coefficient d'irrégularité à l'écart entre les vitesses angulaires extrêmes. c'est-à-dire à l'expression double de la précédente, soit :

$$\frac{1}{K} = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_m} \cdot 2$$

II. CHAUDIÈRES POUR L'INSTALLATION A VAPEUR

On emploiera des chaudières à tubes d'eau, munies de surchauffeurs intérieurs et de grilles à chargement automatique. Ces chaudières seront groupées en unités correspondant à la puissance des turbo-génératrices ainsi que le recommandent MM. Merz et Mac Lellan et autres constructeurs, la puissance normale de chaque batterie étant égale à la puissance normale de sa turbo-génératrice.

Pour calculer la puissance des chaudières, on a supposé que la consommation des turbo-génératrices dans les conditions de service, y compris la vapeur nécessitée par les pompes alimentaires et le groupe d'excitation, serait de 9 kilog. environ par kilowatt-heure produit. On a dès lors pourvu chaque turbine de 2 000 kilowatts, de quatre chaudières d'une capacité vaporisatrice d'environ 4 500 kilowatts par heure chacune. Afin de donner au bâtiment des chaudières à peu près la même longueur qu'à la salle des machines, on a disposé deux rangées de dix chaudières groupées en cinq batteries de quatre chaudières. Chaque groupe est muni d'un économiseur.

Gazogènes

Si les progrès du grand moteur à gaz ont été plus sensibles en Allemagne qu'en Angleterre,

c'est à ce dernier pays que revient par contre le mérite d'avoir apporté la plus large contribution aux perfectionnements du gazogène. D'enquêtes faites en Allemagne et aux Etats-Unis, il résulterait que les grands gazogènes pour utilisation des charbons bitumineux n'ont donné de résultat satisfaisant dans aucun de ces pays. Cela pourrait peut-être s'expliquer par ce fait que le charbon dont on dispose dans ces deux contrées contient un plus fort pourcentage de cendres et est beaucoup plus sujet à donner du mâchefer que le charbon bitumineux d'Angleterre. Quelle que puisse être la cause, le fait demeure qu'il existe dans ce dernier pays de nombreuses installations de gazogènes à charbon bitumineux fonctionnant d'une façon parfaite et alimentant de grands moteurs à gaz. Une seule maison anglaise de construction de gazogènes compte actuellement diverses installations fournissant du gaz à de grands moteurs représentant une puissance totale d'environ 100 000 chevaux. Et, d'après les renseignements recueillis auprès des industriels qui les utilisent, ces gazogènes donnent entière satisfaction.

Avec des moteurs convenablement construits, il ressort qu'il n'y a pas, dans l'utilisation de ces appareils, de plus grandes difficultés que dans la marche aux gaz de hauts fourneaux. La teneur comparativement élevée d'hydrogène tend à produire une inflammation prématurée si la compression est poussée trop loin ; mais cette difficulté est

entièrement écartée en construisant des moteurs pour une compression plus faible.

Des difficultés se présentent au début dans l'enlèvement du goudron, poussières et autres impuretés ; mais les appareils de nettoyage efficaces actuellement compris dans toute installation, ont eu raison de ces difficultés ou du moins les ont réduites à un tel point que le faible pourcentage d'impuretés transportées dans le moteur n'a aucun effet pernicieux sur le fonctionnement de ce dernier. Les troubles survenant à la suite des variations dans la qualité du gaz, variations causées par la charge et le décrassage des gazogènes, disparaissent pratiquement lorsque plusieurs gazogènes sont groupés pour alimenter une conduite commune ou un réservoir commun dans lesquels les gaz des divers gazogènes viennent se mélanger. Il sera bon, dès lors, de ne pas adopter ici le principe adopté pour les chaudières, c'est-à-dire de ne point désirer l'installation de gazogènes en unités correspondantes aux unités génératrices.

Installation de récupération de sulfate d'ammoniaque

Ce détail est un point très important à considérer dans la construction d'une station de moteur à gaz. Il existe un grand nombre d'installations de récupération fonctionnant depuis plusieurs années, et où la vente des sous-produits a presque atteint le prix du combustible employé. Les résul-

tats obtenus ont été si entièrement satisfaisants qu'à première vue on est tenté d'admettre que les frais d'une telle installation s'imposent dans tous les cas. Cette récupération ammoniacale entraîne cependant des dépenses supplémentaires, et il faut tenir compte de ce qui suit :

1° Les frais de premier établissement de l'installation avec récupération sont plus élevés (particulièrement pour les faibles puissances) que ceux relatifs à un ensemble sans récupération ;

2° Des frais supplémentaires en personnel sont entraînés pour la marche de l'installation ;

3° L'achat d'acide sulfurique (dont il faut approximativement une tonne par tonne de sulfate d'ammoniaque obtenue) est un détail également important ;

4° La production de calories par tonne de charbon se trouve légèrement réduite, si le sulfate d'ammoniaque est récupéré ;

5° Les frais supplémentaires de réparations, ceux de manipulation et d'emballage des sous-produits, absorbent également une partie des bénéfices réalisés par la récupération.

Jusqu'à présent, l'expérience semble indiquer que, pour les installations d'un débit total ne dépassant pas 2 000 kilowatts, même avec un bon facteur de charge, il ne vaut pas la peine d'essayer de récupérer le sulfate d'ammoniaque.

Pour un débit maximum de 8 000 kilowatts, il y aurait probablement lieu d'installer la récupé-

ration, même pour un facteur de charge n'excédant pas 24 0/0. Une meilleure solution, cependant, consisterait à munir des appareils de récupération une partie seulement de l'installation qui pourrait être maintenue presque continuellement à un très haut facteur de charge, tandis que l'autre partie de l'installation, sans récupération, servirait pour les pointes de charge et pour la partie restante du débit total.

Manutention et emmagasinage du charbon

Pour les deux installations (à vapeur et à gaz), on installera des silos à charbon capables d'emmagasiner la consommation de quinze jours sous des conditions de charge moyenne. Dans l'installation à vapeur, ces silos seraient placés dans la partie supérieure de la chaufferie et auraient une capacité de 1 500 tonnes.

Dans le cas de l'installation à gaz, le charbon serait emmagasiné dans des silos disposés sur le sol derrière les gazogènes et parallèlement à ces derniers ; il serait déchargé manuellement des wagons, descendrait par gravité dans les bennes puis s'élèverait jusqu'aux trémies placées au-dessus des gazogènes. Ces trémies auraient une capacité suffisante pour permettre une alimentation de vingt-quatre heures sous des conditions de charge moyenne. Les cendres retirées en dessous des gazogènes seraient conduites par le même transporteur jusqu'à la trémie à cendres.

III. BATIMENTS ET FONDATIONS

Le coût de la salle des machines et des fondations des moteurs est naturellement beaucoup plus élevé pour le gaz que pour la vapeur, mais les gazogènes n'exigent aucun bâtiment et le prix des fondations pour gazogènes est très faible par rapport à celui que nécessitent celles des chaudières, carneaux, cheminées, etc. En définitive, le prix total des bâtiments est considérablement moindre pour la station des moteurs à gaz que pour celle des machines à vapeur.

Le prix indiqué dans le devis comprend un solide bâtiment avec charpente en acier et murs en briques intérieurement doublés, sur 2 mètres de hauteur, d'un soubassement en briques vernissées. On a également compté un magasin, un atelier et les bureaux.

IV. INSTALLATION D'EXCITATION, DE DISTRIBUTION, ETC.

Les circuits de champs des génératrices seraient alimentés, dans les deux genres d'installations, par deux excitatrices à commande de vapeur, chacune d'elles étant capable de produire le courant total d'excitation requis à pleine charge. Les excitatrices se trouveraient complétées par une batterie d'accumulateurs capable de maintenir le

plein courant d'excitation pendant vingt-quatre heures.

Dans le cas de l'installation à gaz, la vapeur nécessaire aux groupes d'excitation serait produite par une petite chaudière à charbon ou à coke ; la vapeur d'échappement irait aux gazogènes, toute vapeur supplémentaire requise par ces derniers étant fournie par des chaudières chauffées avec les gaz d'échappement des grands moteurs.

La distribution serait du type à commande à distance, les interrupteurs à rupture dans l'huile étant placés dans un local spécial s'étendant tout le long de la salle des machines. Le prix de premier établissement de cette installation pour l'ensemble avec moteurs à gaz sera un peu plus élevé que celui de la station avec turbines à vapeur, car le tableau comportera deux panneaux supplémentaires.

Frais de premier établissement

Les dépenses totales de premier établissement des installations respectives, pour la charge maximum de 8 000 kilowatts spécifiée, se répartiront comme suit :

1^o Installation à vapeur

Cinq turbo-génératrices de 2 000 kilowatts complètement montées.	995.400 fr.
Cinq condenseurs à surface, pompe de circulation et pompe à air.	249.000 »

<i>Report</i>	1.244.400 fr.
Tuyauterie de circulation	30.200 »
Réfrigérants à cheminée, complètement montés.	174.000 »
Vingt chaudières à tubes d'eau, complètement montées, avec grilles à chargement mécanique, économiseurs, surchauffeurs, pompes alimentaires, château d'eau et bêche alimentaire, installation d'épuration des eaux et toutes tuyauteries. . .	788.700 »
Bâtiments, avec fondations des machines et des chaudières, deux cheminées et carneaux.	846.700 »
Pont-roulant	25.200 »
Charpente métallique, silos à charbon, convoyeur à charbon et à cendres . . .	224.300 »
Excitatrices, batterie, tableau de distribution et connexions des génératrices au tableau.	182.700 »
Total.	<u>3.516.200 fr.</u>

Soit 351 fr. 62 par kilowatt installé.

2° Installation à gaz

Sept moteurs à gaz de 1450 kilowatts, génératrices, compresseurs d'air, tuyauteries à gaz, à eau, à air, et tuyauterie d'échappement, ainsi que tous les auxiliaires, complètement montés	2.470.000 fr.
Quatre gazogènes à récupération d'ammoniac, complètement montés avec surchauffeurs, souffleries, tours de refroidissement (réfrigérants à cheminée) et de lavage, épurateurs centrifuges, scrubbers, appareils à absorber l'ammoniac, et toutes tuyauteries . .	465.900 »

	<i>Report.</i>	2.935.900 fr.
Soufflerie, laveur, épurateurs centrifuges (réserve)		95.200 »
Quatre gazogènes à non-récupération avec les scrubbers nécessaires, etc.		260.500 »
Installation de producteurs de vapeur, éco- nomiseurs, pompes alimentaires, etc.		122.200 »
Réfrigérants à cheminée, pompes et épurateur d'eau		50.100 »
Bâtiments et fondations, etc.		611.700 »
Pont-roulant		31.500 »
Charpente métallique, silos à charbon, convoyeur à charbon et à cendres.		155.000 »
Excitatrice, batterie, installation de dis- tribution et connexions entre les géné- ratrices et le tableau		195.300 »
	Total.	<u>4.457.400 fr.</u>

Soit 445 fr. 73 par kilowatt installé.

Marche de l'installation avec moteurs à gaz et gazogènes

Avant de considérer les frais d'exploitation des systèmes respectifs, les auteurs ont cru devoir indiquer en quelques mots le fonctionnement d'une station à moteurs à gaz et gazogènes (fig. 85).

Le charbon est amené par l'élévateur à chaîne sans fin *c c'* dans les trémies disposées au-dessus des gazogènes; il descend de là par la vanne *v* dans le gazogène *g*. Les cendres sont régulièrement enlevées de la cuve pleine d'eau *e* de quatre en quatre heures, leur production dépendant d'ailleurs de la rapidité de combustion du gazogène.

Conducteur de moteurs.

9

Au sommet de ce dernier, les gaz chauds s'échappent du tuyau *t*, puis passent dans le *sur-chauffeur* qui consiste en une série de tubes verticaux entourés par la vapeur et l'air se rendant au gazogène. Une partie considérable de la chaleur

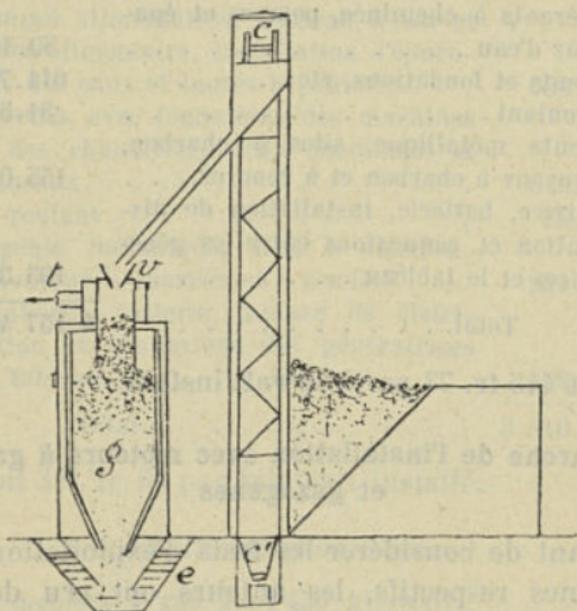


Fig. 85.

sensible des gaz est abandonnée dans cet appareil et utilisée.

Le gaz passe ensuite au *laveur mécanique*, où il est soumis à un jet d'eau chaude pulvérisée provenant de la rotation de roues à palettes. La poussière et la suie contenues dans le gaz sont par ce

procédé enlevées et la température de ce gaz s'en trouve considérablement réduite. En même temps, l'eau chaude est réchauffée et passe ensuite au *saturateur d'air*, dans lequel, en chauffant et saturant l'air qui se rend au gazogène, elle est refroidie et prête à servir de nouveau dans le laveur.

Sortant de ce dernier, le gaz entre dans l'appareil mécanique à absorber l'ammoniaque, où il rencontre une fine pluie de solution de sulfate d'ammoniaque contenant une petite quantité d'acide sulfurique libre. Dans cet appareil, l'acide contenu dans la solution se combine avec l'ammoniaque que renferme le gaz et forme du sulfate d'ammoniaque. L'acidité de la liqueur est maintenue constante par un petit jet d'acide sulfurique coulant dans l'appareil à absorber; la liqueur de sulfate, dont le volume s'accroît continuellement par le nouveau sulfate d'ammoniaque formé, s'écoule lentement et continuellement de l'appareil pour se rendre dans les cuves réservées à cet effet.

Poursuivant le trajet du gaz, il est ensuite traité dans un *réfrigérant à gaz mécanique*, où il rencontre une pluie d'eau froide, et où il abandonne la majeure partie de son goudron; à la sortie de ce réfrigérant, le gaz passe au *régulateur d'air* qui consiste simplement en un petit gazomètre dont le poids règle la quantité d'air provenant des souffleries. De là, le gaz passe à travers deux *épurateurs centrifuges* en série qui, tournant à

grande vitesse avec faible injection d'eau, enlèvent d'une façon efficace le goudron que contient encore le gaz, n'en laissant plus que de très légères traces. Ces dernières sont écartées en passant à travers les *scrubbers* d'où le gaz sort complètement froid et purifié, pour pénétrer finalement dans un autre *gazomètre* qui sert à maintenir une pression constante dans la conduite d'alimentation des moteurs à gaz.

La marche avec non-répercussion est beaucoup plus simple. Dans ce cas, le gaz passe directement dans le laveur réfrigérant, et de là, à travers le régulateur à gaz et les épurateurs centrifuges, se rend aux *scrubbers*, puis aux moteurs.

V. FRAIS D'EXPLOITATION

La consommation de combustible d'une installation à gaz, comme d'une installation à vapeur, dépend d'au moins quatre importants facteurs, qui sont :

1° Le débit effectif ou réel qui, dans une station centrale électrique, sera exprimé en kilowatts-heure produits ;

2° Les pertes à vide qui comprennent le frottement, les pertes dues à la résistance de l'air ou par ventilation, et les pertes électriques entraînées par la marche de la génératrice sur circuit ouvert, ainsi que la dépense d'énergie nécessitée pour la marche des excitatrices, pompes et tous autres auxiliaires ;

3° Les pertes par combustion au repos des chaudières ou des gazogènes à feu dormant ;

4° Le rapport de la consommation réelle de combustible, vérifiée, dans les conditions de service normal, à la consommation théorique basée sur les résultats d'essais ayant eu pour but la détermination des facteurs précédents. On désigne ce rapport par l'expression *facteur de correction*.

Pertes par combustion au repos

Les pertes par radiation de chaleur dans les chaudières et la tuyauterie et par infiltrations d'air froid à travers la maçonnerie de briques des chaudières, constituent un point très important à considérer dans toutes les stations centrales avec commande à vapeur, car les conditions de charge sont généralement telles que la majorité des chaudières sont à feu couvert durant plusieurs heures par jour.

Le colonel Crompton a trouvé que le combustible nécessaire pour maintenir en feu dormant une des chaudières de 1 900 kilogr. des usines d'éclairage électrique de Chelmsford, s'élevait à 30 kg. 380 par heure, soit 16 kilogr. de charbon par heure et par 1 000 kilogr. d'eau vaporisée.

M. Collings Bishop, de Newport, trouva que deux chaudières, chacune d'une capacité vaporisatrice de 4 530 kilogr. par heure, nécessitaient pour la marche à feu couvert, 101 kg. 560 de charbon horaire, soit 11 kg. 200 de charbon par heure et

par 1 000 kilogr. d'eau vaporisée. Comme quatre chaudières de 4 500 kilogr. seront nécessaires pour chaque unité de 2 000 kilowatts dans le projet examiné, le charbon pour maintenir ces chaudières en feu dormant s'élèvera au moins à 203 kilogr. environ par heure et par unité installée.

Le combustible nécessaire pour maintenir les gazogènes en feu dormant n'est qu'une faible fraction de celui nécessaire dans les chaudières pour le même objet. La radiation de chaleur dans les gazogènes est extrêmement faible, car l'espace annulaire entre le revêtement en briques réfractaires et l'enveloppe extérieure constitue un des meilleurs isolants qu'on puisse obtenir.

Les pertes par combustion au repos dans les gazogènes pour le projet considéré sont garanties ne pas excéder 22 kg. 700 par heure et par gazogène.

Facteur de correction

Il est difficile, sinon impossible, de maintenir ce facteur entre des limites convenables. Cela s'explique par les variations dans la qualité du combustible fourni, par le combustible utilisé dans l'allumage des chaudières, par l'encrassage graduel des tubes de génération et de condensation entre les périodes de nettoyage, par les erreurs de jugement quant au meilleur moment de mise en marche et d'arrêt des unités, et par d'autres détails analogues qui, dans une station bien conduite, sont l'objet

d'une attention permanente, mais dont les effets ne peuvent être entièrement éliminés.

Pour les deux installations considérées, on a majoré de 25 0/0 la consommation de combustible basée sur les conditions d'essai, pour tenir compte des contingences ci-dessus. Le nombre de kilowatts-heure produits par an pour une demande maximum de 8000 kilowatts, un facteur de charge de 24 0/0 et un rendement de distribution de 80 0/0, sera de 21 millions. Les expériences prouvent que, pour une turbo-génératrice de 2000 kilowatts, la consommation de vapeur par kilowatt-heure produit est de 7 kg. 028, soit, en admettant une vaporisation de 8 kilogr. par kilogramme de combustible, une consommation de charbon de 878 grammes par kilowatt-heure. Et les pertes à vide s'y élèvent à 418 kilogr. par heure.

Pour déterminer le nombre d'heures de marche de l'installation exprimée en *turbines-heure* et le nombre d'heures durant lesquelles les chaudières marchèrent à feu dormant, exprimé en *chaudières dormantes-heure*, on a obtenu d'intéressants résultats en portant pour chaque unité génératrice de 2000 kilowatts les heures moyennes de marche nécessitées pour satisfaire à la charge donnée. Il ressort de là que le total minimum de turbines-heure serait de 33 par jour, soit 12 800 par an, et que les chaudières dormantes-heure seraient de 45 par jour, ou 16 800 par an.

La consommation totale annuelle de charbon des

turbines à vapeur sera, dès lors, la suivante en tonnes métriques :

21 millions de kilowatts-heure de 878 grammes	
par kilowatt-heure	18.440 t.
12 800 turbines-heure à 408 kilogr.	5.220 »
16 800 chaudières dormantes-heure à 203 kg.	3.410 »
	<hr/>
	27.070 t.
Facteur de correction, 1,25.	
	<hr/>
Total.	33 835 t.

Soit 1 kg. 610 par kilowatt-heure produit.

Rendement thermo-dynamique global : 7,4 0/0.

Une autre expérience donne la moyenne des moteurs-heure par jour, ainsi que les heures durant lesquelles les gazogènes marchent à feu couvert. Le nombre total de moteurs-heure est de 17 450 par an, et les gazogènes dormants-heure s'élèvent à 35 000. La consommation annuelle de charbon pour l'installation à gaz sera dès lors :

21 millions de kilowatts-heure à 453 grammes	
par kilowatt-heure	9.513 t.
17 450 moteurs-heure à 363 kilogr.	6.335 »
35 000 gazogènes dormants-heure à 22 kg. 700.	795 »
	<hr/>
	16.643 t.
Facteur de correction, 1,25.	
	<hr/>
Total.	20.800 t.

Soit 990 grammes par kilowatt-heure produit.

Rendement thermo-dynamique global : 12 0/0.

On a estimé que les 71 0/0 environ, soit 14 770 tonnes de la consommation totale de charbon, se-

raient gazéifiés dans les gazogènes à récupération d'ammoniaque et produiraient au moins 595 tonnes d'ammoniaque. En estimant la valeur de ce produit à 273 francs la tonne, ce qui est considérablement inférieur au cours actuel, sa vente rapporterait seule plus de 160 000 francs par an.

Il faut une tonne d'acide sulfurique, à 37 fr. 20, par tonne de sulfate d'ammoniaque; les sacs reviennent à 6 fr. 20 la tonne et les frais de manipulation et d'emballage sont estimés à 1 fr. 85 par tonne. Les dépenses totales d'acide, sacs, emballage, seront donc d'environ 25 000 francs, ce qui réduit la somme totale retirée de la vente du sulfate d'ammoniaque à 135 000 francs environ.

Huile, chiffons de nettoyage, etc.

Le coût de l'huile pour l'installation des turbines à vapeur est estimé à 0 c. 0313 par kilowatt-heure produit. Ce chiffre, qui semble être bien au-dessous de la consommation moyenne des stations à turbines, est indiqué par MM. Parsons, Stoney et Martin dans leur étude sur les turbines à vapeur.

La consommation d'huile pour les groupes générateurs des grands moteurs à gaz est évaluée, par divers ingénieurs compétents, à un chiffre variant entre 0 l. 910 et 1 l. 680 par 1 000 chevaux-heure, le prix moyen de l'huile employée étant d'environ 42 centimes le litre. Prenant le chiffre le plus élevé, la consommation par groupe sera de 3 l. 360 à l'heure, ce qui correspond à environ 24 500 francs

9.

par an. Le coût du graissage pour l'installation auxiliaire est estimé à 5 000 francs. Soit un total annuel de 29 500 francs.

Le coût des chiffons et matières diverses pour salle de machines est évalué à 0 c. 021 par kilowatt-heure produit dans l'une et l'autre des installations, ce qui porte le prix global d'huile, chiffons, etc., à 11 040 francs pour l'ensemble vapeur, soit 0 c. 0523 par kilowatt-heure; et à 33 900 francs pour l'ensemble gaz, soit 0 c. 162 par kilowatt-heure.

Eau

Chaque unité à vapeur nécessite 13 087 mètres cubes d'eau refroidissante; et l'on estime que les 3 0/0 de cette eau seront évaporés dans les réfrigérants. L'évaporation d'eau s'élèvera donc à $39^{\text{m}^3} 261$ par heure, soit pour les 12 800 turbines-heure, une évaporation totale de 502 540 mètres cubes par an; la dépense correspondante, à raison de 0 fr. 138 le mètre cube, sera de 69 550 francs par an.

L'eau de refroidissement nécessitée par les moteurs à gaz est évaluée à environ 54 l. 5 par heure et par kilowatt; chaque groupe de 1 500 kilowatts nécessitera donc $8^{\text{m}^3} 750$ par heure.

On a également supposé une évaporation de 30/0. L'eau évaporée dans les réfrigérants sera ainsi de $2^{\text{m}^3} 450$ par moteur-heure, soit pour les 17 450 moteurs-heure une quantité de 43 000 mètres cubes par an.

La consommation d'eau des gazogènes est estimée

à 159 mètres cubes par jour, soit 57 000 mètres par an. La quantité totale d'eau pour l'installation à gaz sera donc de 100 000 mètres cubes, soit, à raison de 0 fr. 138 le mètre, une dépense totale de 13 800 francs.

Personnel

Les frais de main-d'œuvre sont calculés en admettant que les installations respectives nécessitent le personnel suivant :

1° Installation à vapeur

3 ingénieurs ou chefs de service, à 75 fr. environ par semaine	225 »
3 électriciens de service au tableau, à 37 fr. 80 par semaine	113 40
4 machinistes, à 44 fr. 10 par semaine.	176 40
4 aides-machinistes ou nettoyeurs, à 35 fr. 30 par semaine	141 20
3 chauffeurs, à 44 fr. 10 par semaine.	132 30
9 manœuvres pour chaufferie et installations auxiliaires, à 37 fr. 80 par semaine.	340 20
3 hommes pour déchargement du charbon et enlèvement des cendres, à 35 fr. 30 par semaine	105 90
Total	1.234 40

Dépenses totales annuelles de main-d'œuvre :
64 200 francs.

2° Installation à gaz

3 ingénieurs ou chefs de service, à 75 fr. par semaine	225 »
3 électriciens de service au tableau, à 37 fr. 80 par semaine	113 40

	<i>Report.</i>	338 40
6	machinistes, à 44 fr. 40 par semaine.	264 60
5	machinistes, à 37 fr. 80 par semaine.	189 »
2	nettoyeurs, à 35 fr. 30 par semaine.	70 60
3	manœuvres pour gazogènes, à 44 fr. 40 par semaine	132 30
6	manœuvres pour gazogènes, à 35 fr. 30 par semaine	211 80
7	manœuvres pour installation de récupération d'ammoniaque, à 37 fr. 80 par semaine.	264 60
2	hommes pour déchargement du charbon et enlèvement des cendres, à 35 fr. 30 par semaine	70 60
	Total.	1.541 90

Dépenses totales annuelles de main-d'œuvre :
80 200 francs.

Entretien et réparations

Nous arrivons au détail le plus difficile à estimer avec exactitude, pour l'installation à gaz comme pour celle à vapeur.

Il est pratiquement inutile de citer l'expérience de stations existantes, car dans deux stations distinctes les conditions diffèrent toujours plus ou moins. Il est par exemple possible de citer des cas où, par suite de construction défectueuse de l'installation, ou bien pour quelque autre cause, les moteurs à gaz furent une source continue de troubles, et il est également possible de citer des cas très nombreux où de puissantes génératrices électriques, à commande par moteurs à gaz, fonc-

tionnèrent longtemps avec des frais remarquablement réduits d'entretien et de réparation.

On peut en dire autant des installations à vapeur. Le meilleur moyen de parvenir à une estimation approchée des frais d'entretien et de réparations est d'examiner la nature et les causes des troubles qui peuvent se produire. Dans les turbines, le risque principal semble être la chute ou le desserrage des aubes. Un grand nombre de turbines à vapeur ont fonctionné depuis des années sans aucun trouble de cette nature, mais le fait n'en demeure pas moins que des cas se sont présentés, même pour des turbines montées durant la dernière année, dans lesquelles la chute ou le desserrage des aubes entraîna de lourdes charges de réparations.

Dans les moteurs à gaz, le risque le plus sérieux semble être celui de la rupture du piston ou celle des parois du cylindre. Les troubles de cette nature étaient assez fréquents dans les premiers grands moteurs à gaz. Ils ont cependant vite disparu, grâce à l'expérience acquise.

Pour ce qui est de l'usure des parties en mouvement, elle est généralement plus faible dans les moteurs à gaz que dans les turbines à vapeur. A certaine époque, on pensait que l'usure des soupapes d'échappement serait considérable dans le moteur à gaz et l'on jugeait alors nécessaire de refroidir ces soupapes par de l'eau, afin de prévenir tout échauffement exagéré. Il y a quelques

années, MM. Ehrhart et Sehmer arrivèrent à la conclusion que le refroidissement par l'eau des soupapes d'échappement était une complication inutile, et ces constructeurs ont aujourd'hui entièrement abandonné cette pratique pour toutes dimensions de moteurs.

On connaît de nombreux exemples de grands moteurs, installés dans des stations centrales du Continent, qui ont fonctionné durant douze à dix-huit mois sans être démontés. Quant aux réparations des génératrices, elles seraient certainement moindres pour une installation à gaz que pour une installation à vapeur. L'un des points principaux dans l'entretien d'une station à vapeur est celui des réparations de tuyauterie de vapeur, tandis que l'entretien des tuyaux d'une station à gaz entraînera très peu de frais. Cela provient de la pression relativement faible qui existe dans la tuyauterie de gaz et de l'absence de tout calorifuge.

Les gazogènes n'entraînent pas des frais excessifs de réparation; ces frais ne seront certainement qu'une fraction de ceux nécessités par les chaudières à haute pression. La *Power Gas Corporation* estime que le prix total des réparations pour l'installation complète des gazogènes, y compris les appareils de récupération d'ammoniaque, n'excéderait pas la moyenne de 12 600 fr. par an pour une période de plusieurs années.

En résumé, les auteurs admettent que les dé-

penses totales d'entretien et de réparations pour la station à moteurs à gaz de 10 000 kilowatts, comprenant moteurs, génératrices, gazogènes, auxiliaires divers et bâtiments, n'excéderaient pas 100 000 fr. par an, soit 0 c. 480 par kilowatt-heure produit. Pour l'installation à vapeur, le même nombre est adopté.

Dépréciation ; intérêts et amortissement

L'emploi des grands moteurs à gaz étant relativement récent, quelques techniciens pourraient supposer que leur construction sera tellement modifiée dans quelques années, qu'il est indispensable de prévoir, dans les projets actuels, une forte somme en vue de la dépréciation. Cependant, ceux qui visitèrent la plupart des installations modernes du Continent, ont dû être frappés par la grande analogie qui existe entre tous les moteurs installés depuis ces dernières années. Ces appareils semblent identiques sous tous les rapports, et ils ont été maintenus en si bon état que les plus anciens paraissent marcher d'une manière aussi satisfaisante que les plus récents.

L'absence totale de vibrations (il a été possible d'équilibrer une pièce de monnaie sur le cylindre d'un 2 000 HP en charge) semblerait indiquer que selon toute probabilité ces moteurs marcheront dans une vingtaine d'années aussi bien qu'aujourd'hui. Le chiffre à admettre pour les intérêts et l'amortissement des installations génératrices

d'électricité est quelque peu sujet à discussion. Il est d'usage, dans la préparation des devis estimatifs d'installations industrielles, d'admettre 10 0/0; mais M. Snell, dans son étude sur le « prix de l'énergie électrique pour usages industriels », soutient le pourcentage de 6,25.

Comme ce détail a une grande influence sur la comparaison des machines à vapeur et des moteurs à gaz, on a indiqué les prix comparatifs qui correspondent aux deux estimations de 10 et 6,25 0/0. Les dépenses totales d'exploitation pour la génération de 21 millions de kilowatts-heure seront alors, d'après les auteurs :

	Gaz	Vapeur
Coût total du charbon, à 15 fr.		
la tonne.	309.800 fr.	503.600 fr.
A déduire la vente de sulfate d'ammoniaque.	133.500 »	
Dépense nette en charbon. . .	175.300 fr.	503.600 fr.
Huile, déchets, etc.	39.900 »	11.040 »
Eau.	13.800 »	69.550 »
Personnel.	80.200 »	64.200 »
Réparations.	100.000 »	100.000 »
Intérêts et amortissements à 10 0/0.	438.730 »	351.620 »
Dépenses totales. . .	<u>847.930 fr.</u>	<u>1.100.010 fr.</u>
Dépenses totales par kilowatt- heure cent.	4,038	5,230
Dépenses totales, en admettant 6,25 0/0 pour intérêts et amortissements.	680.780 fr.	968.150 fr.
Dépenses totales par kilowatt- heure. cent.	3,240	4,610

On voit ainsi que le prix total de production d'énergie par la vapeur (en admettant 6,25 0/0 pour intérêts et amortissements), dépasse de 42 0/0 le prix de production d'énergie par le gaz.

Influence du prix du charbon et du facteur de charge

Dans le cas examiné, les conditions sont plus favorables à l'emploi des moteurs à gaz que dans la plupart des entreprises existantes où le facteur de charge atteint rarement 24 0/0. De plus, dans beaucoup de cas, il est possible d'obtenir un charbon convenable pour moins de 15 francs la tonne (surtout en Angleterre). Les auteurs ont donc envisagé le cas extrême opposé d'une station génératrice ayant le très faible facteur de charge de 10 0/0 et capable d'avoir du combustible à 10 francs la tonne. Le débit maximum sera supposé de 4 000 kilowatts; l'emploi d'une installation à récupération d'ammoniaque pour une partie des gazogènes sera considéré comme injustifié. Dans ces conditions, le bénéfice réalisé sur le combustible par l'emploi des moteurs à gaz est un peu plus que suffisant pour compenser les frais supplémentaires d'intérêts et d'amortissement qu'entraînent les plus grandes dépenses de premier établissement pour l'installation à gaz.

De plus, un ensemble mixte, à vapeur et à gaz, pourrait être employé, l'installation à gaz étant utilisée pour la partie basse de la courbe de charge,

et l'installation à vapeur, à cause de ses frais de premier établissement plus faibles, pour la pointe de charge.

Le résumé suivant donne l'estimation des frais annuels d'exploitation avec ensembles comprenant respectivement :

A. Cinq turbo-génératrices à vapeur de 1 000 kilowatts ;

B. Sept moteurs à gaz et génératrices de 700 kilowatts ;

C. Quatre turbo-génératrices à vapeur de 1 000 kilowatts et deux moteurs à gaz de 700 kilowatts.

Frais d'exploitation.

Installation de 4 000 kilowatts

Facteur de charge, 10 0/0.

Rendement de la distribution, 80 0/0.

Nombre de kilowatts-heure produits, 43 800.

Charbon, 10 francs la tonne.

	A Vapeur	B Gaz	C Mixte
Charbon fr.	98.700	52.250	70.350
Huiles et déchets.	2.400	7.500	6.250
Eaux.	17.900	2.500	4.280
Personnel	60.500	63.000	69.150
Réparations	31.500	31.500	31.500
Intérêts et amortissement à 10 0/0.	187 800	241.350	217.730
Dépense totale. . . fr.	<u>398.800</u>	<u>398.100</u>	<u>399.260</u>
Dépense par kilowatt-heure produit. cent.	9,10	9,09	9,11
Dépense totale, en comptant les intérêts et amortisse- ments à 6,25 0/0 . . . fr.	328.380	307.600	317.600

Ces résultats font ressortir que, dans les conditions précédemment spécifiées et avec 10 0/0 d'intérêts et amortissements, les frais d'exploitation seront très sensiblement les mêmes pour les trois genres d'installations : turbines à vapeur, moteurs à gaz, système mixte. Mais si l'on admet le nombre 6,25 0/0 pour intérêts et amortissement, la station mixte présentera une économie globale de 3 0/0 par rapport à la station uniquement à vapeur, et l'ensemble gaz réalisera 6 0/0 d'économie sur l'ensemble vapeur.

Pour terminer leur travail, les auteurs ont calculé, d'après les bases précédentes, les frais totaux d'exploitation par kilowatt-heure avec du charbon de prix divers variant de 3 fr. 10 à 18 fr. 60 la tonne, et pour des facteurs de charge de 10, 15 et 24 0/0. Les résultats de leurs calculs sont traduits par des courbes, et nous nous contenterons d'en indiquer les conclusions. Dans aucun cas, il ne serait avantageux de monter une station en adoptant le système mixte, c'est-à-dire en combinant les moteurs à gaz et les turbines à vapeur. Avec l'installation à non-récupération et du charbon dépassant un certain prix, les moteurs à gaz sont plus économiques; au-dessous de ce prix, c'est la station uniquement à vapeur qui offre le plus d'économie par rapport aux autres systèmes.

Ces remarques ne sont applicables qu'aux installations à créer de toutes pièces. Il existe, en effet, beaucoup de ces usines, à rendement inférieur,

dans lesquelles on réaliserait une sérieuse économie en installant un ou plusieurs moteurs à gaz qui seraient employés pour la partie plate de la courbe de charge, l'installation à rendement inférieur étant conservée pour les pointes de charge et comme réserve.

Enfin, si la dimension de la station ou le facteur de charge autorisent l'emploi de l'installation à récupération d'ammoniaque, le gaz sera plus économique que la vapeur, quelque réduit que soit le prix du combustible.

VI. EXEMPLES D'INSTALLATIONS

Ajoutons ces renseignements complémentaires.

1° **Jamestown and Warren Street Railway (E.-U.)**

Cette station fonctionne depuis décembre 1905.

Charge. — Quatre voitures interurbaines de 35 t. 5; parcours journalier : 1 287 kilom.

Plusieurs voitures urbaines; parcours journalier : 3 821 kilom.

Total de tonnes kilométriques : 94 480 par jour.

Équipement de la station. — Deux moteurs tandem horizontaux Westinghouse de 500 HP; deux alternateurs Westinghouse de 300 kilowatts, 25 périodes, 130 tours-minute; installation de réserve; trois moteurs verticaux Struthers Wels de 275 HP, avec génératrices à commande par courroies.

Consommation de gaz. — Gaz naturel ; pouvoir calorifique : 8 900 calories environ ; consommation de gaz par voiture kilométrique : $0^{\text{m}^3}4585$; consommation de gaz par tonne kilométrique : $0^{\text{m}^3}0408$.

Consommation d'huile. — On trouve par cheval-heure utile : 0 l. 00114 pour le cylindre et 0 l. 001568 pour le moteur.

Eau de refroidissement. — Il faut 25 l. 65 par cheval-heure.

Le personnel de service comprend quatre ouvriers plus un ingénieur chef de service ; l'installation fonctionne vingt heures par jour environ.

Durant les six mois qui précédèrent la visite de cette station, l'installation de réserve n'a pas dû être utilisée, sauf pour satisfaire aux surcharges provenant de la neige. Pour les neuf derniers mois, les frais de réparations furent : main-d'œuvre, personnel de service seulement, matériel, moins de 50 francs.

Les fluctuations de la charge sont considérables. C'est ainsi qu'on a relevé à intervalles d'une minute, les nombres suivants :

Volts	Ampères
362	500
363	200
338	1.350
360	700
339,5	1.000

Les moteurs marchent en parallèle d'une façon parfaite. Ils sont synchronisés par la méthode

courante des lampes. L'opération entière de décharge, synchronisation et recharge, fut à plusieurs reprises accomplie en vingt-cinq secondes.

On ne constata aucun échauffement aux fortes charges. Des cas de non-inflammation se présentaient de temps à autre, mais sans qu'aucun trouble en résultât dans la partie électrique.

2° Milwaukee Northern Railway (E.-U.)

Cette station fut inaugurée en octobre 1907.

Charge. — Voitures interurbaines pour transporter 52 voyageurs à la vitesse horaire de 44 kil. 225, et voitures urbaines (tramways).

La charge varie depuis la demi-charge jusqu'à 50 0/0 au-dessus de la pleine charge.

Temps de marche : 19 à 20 heures par jour.

Équipement de la station. — Trois moteurs double-tandem Allis-Chalmers de 1 500 HP, accouplés à des alternateurs de 1 000 kilowatts, avec 25 périodes (les moteurs étant capables de développer une puissance maximum de 2 000 HP).

Gazogènes à faible tirage Loomis-Pettibone de 4 000 HP, avec capacité de surcharge de 25 0/0 durant 5 heures.

Le combustible employé est du charbon fin d'un pouvoir calorifique de 6 400 calories environ. Le gaz produit recèle 1 100 calories.

Consommation d'huile par jour. — Système de filtration d'huile ; cylindres, 36 l. 33 par moteur.

L'usine a fonctionné pendant six mois, sans le

moindre trouble. Des renseignements adressés par la Compagnie à la Commission des moteurs à gaz de la *National Light Association*, il résulte que la continuité de service et la sécurité de fonctionnement de cette installation sont absolument indiscutables.

3^o Boston Elevated Railway (E.-U.)

Cette station fonctionne depuis mai 1906.

Charge. — Voitures urbaines (tramways).

Équipement de la station. — Deux moteurs américains Crossley de 600 HP ; deux génératrices à courant continu de 350 kilowatts ; deux gazogènes Loomis-Pettibone, brûlant du charbon tendre.

Consommation de combustible. — On obtint, pour sept mois de l'année 1907, de janvier à juillet complets, en totaux :

Kilowatts-heures produits, 988 980.

Charbon, coke compris, 912 819 kilogr.

Charbon, par kilowatt-heure, 0 kil. 923 en moyenne.

Facteur de charge du moteur, 83,3 en moyenne.

Eau pour tous services. — Il faut 127 l. 230 par kilowatt-heure, d'une eau obtenue sans frais.

Huile. — Par kilowatt-heure : 0 l. 001159 pour le cylindre, et 0 l. 004544 pour le moteur.

Personnel. — Onze hommes divisés en deux équipes de huit heures.

La Compagnie écrivait les lignes suivantes à la

Commission de la *National Electric Light Association* :

« *Sécurité de marche.* — L'installation s'est montrée absolument sûre.

« *Economie.* — Bénéfice de 41,5 0/0 en charbon sur la vapeur.

« *Troubles.* — Très peu ; pratiquement aucun qui ait affecté le service ; ratés et allumages prématurés pratiquement éliminés.

« *Uniformité ou continuité de service.* — Les moteurs ont supporté de bonnes charges ; ils continueront de même, si l'on dispose du temps nécessaire au nettoyage des gazogènes ; mais ils nécessitent beaucoup plus de temps pour visites, etc., que les machines à vapeur de mêmes dimensions ».

4° Installations allemandes

Les gaz perdus d'un grand nombre de hauts fourneaux du district de Westphalie sont utilisés depuis quelques années pour produire l'énergie électrique nécessaire aux usines métallurgiques et autres établissements industriels voisins. Le débit d'une installation particulière de ce genre dépasse 50 millions de kilowatts-heure par an.

Une partie de ce débit est produite par des génératrices de commande à vapeur, et le reste des génératrices avec moteurs à gaz ; les installations respectives sont établies en des usines différentes, et elles ont une surveillance bien distincte. Une

sorte de concurrence a toujours existé entre les ingénieurs chefs de station, résultant du désir, naturel de la part de chacun d'eux, de présenter le total le plus bas de dépenses.

Il y a quelques mois, une Commission, comprenant des experts pour installations de moteurs à gaz et pour installations de machines à vapeur, fut nommée pour déterminer d'une façon précise le prix total de production de l'énergie avec les systèmes respectifs. L'ensemble à vapeur soumis à l'essai comprenait un turbo-alternateur triphasé de 8 250 HP (3 500 kilowatts) et l'ensemble à gaz consistait en quatre moteurs, simple tandem de 2 000 HP directement accouplés à des alternateurs triphasés.

Chaque installation fut débitée de 10 0/0 des frais totaux d'établissement, pour amortissement, en plus des intérêts. De pareilles charges ainsi fixées tendraient évidemment à favoriser l'installation à vapeur, par suite de son plus bas prix d'établissement. Les dépenses effectives en personnel, matériel et réparations furent comptées pour une période de dix-huit mois.

Comme les gaz perdus disponibles étaient insuffisants pour produire l'énergie totale demandée, il devint nécessaire de fournir du charbon en balance ; et la valeur du gaz fut alors comptée dans chaque cas comme équivalente au prix du charbon ayant une puissance calorifique utile correspondante.

Le pouvoir calorifique du charbon employé

Conducteur de moteurs.

10

était de 6 560 calories environ, et son prix de 13 fr. 64 la tonne, déchargé à l'usine. Tous les instruments employés pour les essais furent soigneusement étalonnés et toutes précautions furent prises en vue d'assurer des résultats précis.

Les chaudières pour l'installation à vapeur furent alimentées au charbon, et le charbon dépensé fut soigneusement mesuré jour par jour durant une période d'un mois.

La consommation de gaz dans l'installation des moteurs fut mesurée en remplissant et vidant alternativement les gazomètres. Les essais de consommation de gaz furent également poursuivis durant un mois sous toutes conditions de charge. Le facteur de charge moyen au cours de l'essai fut de 65 0/0.

La Commission rapporta finalement que les dépenses totales de production d'énergie, y compris toutes charges de premier établissement, s'élevaient à 0 fr. 025 le kilowatt-heure avec les moteurs à gaz, et à 0 fr. 040 avec les machines à vapeur, le prix de production d'énergie par la vapeur étant ainsi de 56 0/0 plus élevé que par le gaz. A la connaissance de ce rapport, l'Administration (dont le seul intérêt est de fournir le plus grand débit au plus bas prix possible) décida l'installation de nouvelles génératrices à commande par moteurs à gaz d'un débit global de 35 000 HP.

VII. ANALYSE DE LA DISCUSSION

Généralités

Les nombreux ingénieurs qui ont pris part à la discussion sont tous d'avis que la question de l'emploi des grands moteurs à gaz devrait au moins être prise en considération dans tout projet d'extension de station génératrice. La divergence d'opinion se produit lorsqu'il s'agit de déterminer dans quelles conditions les avantages reconnus des moteurs à gaz font plus que compenser leurs inconvénients. Ce point ne peut être déterminé qu'après l'étude soignée des conditions locales particulières à chaque cas, et à la lumière d'informations, telles que celles apportées dans cette discussion.

Frais de premier établissement

La principale critique a été dirigée sur les dépenses relatives admises par les auteurs pour frais de premier établissement. Plusieurs ingénieurs compétents trouvent surestimés les chiffres fournis comme prix d'établissement de l'installation à vapeur. D'autres jugent que les chiffres de l'installation des moteurs à gaz sont également élevés. Il en résulte que les estimations demeurent correctes, au point de vue relatif. La question ne consiste point à obtenir une conclusion définitive quant aux dépenses entraînées par l'un ou l'autre

systèmes (ces dépenses devant varier avec les conditions locales) mais plutôt à déterminer la différence approximative dans les frais.

D'après les auteurs, cette différence atteindrait de 62 à 75 francs par kilowatt en faveur des turbines à vapeur. Ces nombres sont à peu près ceux indiqués par M. Pearce qui propose de réduire les frais de premier établissement à 317 fr. 50 par kilowatt installé pour l'ensemble à vapeur, et à 318 francs pour l'ensemble à gaz. En raison de l'autorité particulière que M. Pearce paraît apporter dans la question, les auteurs ont admis les valeurs proposées et les ont introduites dans leur devis général amendé que nous reproduirons à la fin de cette analyse.

Frais d'emplacement

Par suite des variations énormes du prix de revient suivant les localités, il n'a pas été possible d'introduire la valeur de l'emplacement dans les dépenses de premier établissement. En réponse à certaines critiques, les auteurs admettent qu'en s'en tenant à l'espace le plus réduit possible, l'installation à vapeur nécessiterait 3 350 m² de moins que l'installation à gaz. Ils estiment que, dans la majorité des cas, les charges annuelles sur ce terrain supplémentaire ne dépasseraient pas 1 fr. 50 par mètre carré, soit en tout 5 000 francs environ par an. Ce chiffre a été introduit dans le devis comparatif amendé.

Réfrigérants à cheminée

Certains ingénieurs critiquent le fait d'avoir admis des tours de refroidissement pour l'eau de condensation : les frais de premier établissement se trouvent ainsi beaucoup plus élevés, surtout pour l'installation à vapeur. Les auteurs font cependant remarquer que c'est là le moyen le plus convenable pour établir la comparaison des deux systèmes. Les nombres relatifs aux réfrigérants s'appliquent à tous les plans, et tout ingénieur pourra modifier le devis suivant les conditions locales en supprimant ce qui concerne les réfrigérants, et mettant à la place les frais entraînés pour obtenir l'eau de condensation. L'intention des auteurs a été simplement de présenter des estimations qui, après des amendements résultant de la discussion, pourraient être acceptées comme types dans certaines conditions déterminées, et qui seraient en même temps, avec de légères modifications, applicables dans les autres conditions.

Dimensions des unités

On aurait pu employer un plus petit nombre de chaudières de plus grande capacité, au lieu de vingt chaudières de 4 500 kilogr. Le prix total avec fondations, montage et bâtiments, aurait été approximativement le même, et par suite les résultats comparatifs seraient demeurés semblables.

La question de dimensions des unités de moteurs à gaz est très controversée. Quelques ingénieurs estiment qu'il n'y a pas lieu de dépasser la puissance unitaire de 1000 HP. D'après M. Sturgeon, quand le facteur de charge est élevé et que la station se trouve dans une contrée où l'eau abonde, avec un terrain bon marché, des unités de 500 kilowatts (680 HP) sont suffisantes; il appuie son opinion sur le fait qu'il n'y a pas de sensible différence dans le rendement thermique entre un moteur de 500 kilowatts et un de 1 000 kilowatts, tandis que si l'on considère le groupe moteur et alternateur, la plus faible unité permettra de réaliser une réelle économie, par suite de sa plus grande vitesse. M. Sturgeon présente le devis suivant, fourni par des constructeurs de moteurs Körting :

Un moteur à gaz deux cylindres, de 750 HP effectifs, 111 tours par minute, avec volant de 15 tonnes et alternateur triphasé de 500 kilowatts, 10000 volts, 50 périodes, complet avec excitatrice à commande par câbles, prix 164 300 francs; deux groupes semblables, 328 600 francs. — Un moteur à gaz deux cylindres, de 1500 HP effectifs, volant de 24 tonnes, avec alternateur de 1000 kilowatts même voltage, etc., vitesse 88 tours par minute, prix 335 200 francs; soit donc 6 600 francs de plus qu'avec les deux unités plus faibles, pour le même débit total.

Il y aurait, en outre, d'autres importantes économies en faveur des faibles unités relativement

aux points suivants : fondations, pont-roulant et unités de réserve. D'autre part, il semble qu'il n'y a aucune difficulté à accroître la puissance des moteurs. M. Stewart estime que le nombre de 1 500 HP fixé par les auteurs comme limite de puissance d'une unité à un cylindre n'est pas exagéré; il cite le cas d'un moteur à deux temps de 1500 HP en service dans ses aciéries d'Ecosse pour la commande d'un laminoir à tôles; ce moteur a marché continuellement depuis février 1907, nuit et jour, et sans qu'une heure de laminage ait été perdue. Le diamètre de son cylindre atteint 1^m 100. Et, selon M. Booth, qui a étudié spécialement la question, aucune raison valable ne peut faire limiter à 1 mètre le diamètre de cylindre.

M. Sehmer, le constructeur allemand bien connu, qui assistait à la discussion, a fourni d'intéressants détails sur le même point. Il a construit plusieurs moteurs d'une puissance de 1 600 HP effectifs par cylindre, et une douzaine de ces cylindres sont en service : « Nous construisons actuellement, ajoute-t-il, un moteur qui donnera un peu plus de 4 000 HP en deux cylindres, c'est-à-dire plus de 2 000 HP par cylindre. La demande n'a pas été jusqu'à présent pour les grands moteurs, mais, en raison du développement des installations Bessemer en Allemagne, nous avons à envisager la question et nous construisons précisément, pour une installation Bessemer, un moteur d'une puissance supérieure à 8 000 HP, avec quatre cylindres ».

M. Allen cite des chiffres analogues, les moteurs à gaz avec pompes Snow fonctionnant en Californie, donnant 5400 HP en quatre cylindres. On construit actuellement, en Allemagne, des moteurs Körting devant développer 2200 HP dans un cylindre unique; et une combinaison en double tandem produirait donc 8800 HP.

Capacité de surcharge

MM. Fox et Watson ont fait ressortir l'avantage de la haute capacité de surcharge des turbines à vapeur comparativement aux 10 0/0 de surcharge admis pour les moteurs à gaz. Cette question de surcharge des moteurs semble n'être cependant qu'une question de chiffres; M. Sehmer affirme, en effet, que ce 10 0/0 correspond à une surcharge continue, mais que les moteurs actuellement construits peuvent marcher avec une surcharge de 20 0/0 durant deux heures et plus. Il serait bon, en conséquence, de fixer des valeurs types dépendant, comme le suggère M. Chattock, de la capacité de surcharge de la génératrice pour une période de deux heures. Si, par exemple, cette surcharge est fixée à 25 0/0, un moteur à gaz ou une machine à vapeur pour un groupe d'une puissance nominale de 1 000 kilowatts devront être capables de produire 1 250 kilowatts durant deux heures et 1 000 kilowatts d'une façon continue. Si toutes les machines motrices étaient désignées d'après cette base commune, la question de plus ou moins

grande capacité de surcharge ne serait pas soulevée.

D'après MM. Humphrey et Lymn, qui en ont fait l'expérience, la capacité de surcharge des gazogènes est pratiquement illimitée. A noter cependant que la production du sulfate d'ammoniaque se trouve légèrement réduite durant la surcharge.

Installation mixte, à vapeur et à gaz

Plusieurs ingénieurs (MM. Dixon, Highfield, Lymn, Pearce, Robinson et Watson) croient que l'installation mixte donnera d'excellents résultats dans les conditions de charge moyenne de la plupart des grandes centrales. Bien que les auteurs aient montré dans leurs études qu'une pareille combinaison ne présentait pas d'économie sérieuse sur les installations à vapeur ou à gaz, ils se rallient à l'opinion de M. Highfield, d'après laquelle, dans le cas de faibles facteurs de charge, la majorité des ingénieurs de stations emploieront les moteurs à gaz combinés avec l'installation à vapeur, cette dernière étant réservée à la pointe de charge, et les moteurs à gaz fonctionnant pour la partie plate de la courbe de charge.

Gazogènes

Selon d'autres ingénieurs (MM. Addenbroke, Woodhouse et Seaton), des troubles seraient à craindre avec les gazogènes. M. Woodhouse pense que les gazogènes à bas produits, pour charbon

bitumineux (type Mond) sont des appareils extrêmement difficiles à conduire, et que la nature du combustible employé doit être choisie avec soin. Un charbon tendre, goudronneux, provoquera beaucoup de troubles. Un charbon avec faible teneur en azote n'est d'aucun usage pour les bas produits; les charbons collants, tels que ceux de Durham et Yorkshire, ne conviennent pas. Notons toutefois que M. Woodhouse ne cite aucun exemple précis à l'appui de son opinion.

L'opinion contraire est soutenue par MM. Allen, Lymn, Sekmer, Stewart, et D^r Drawe, qui citent des résultats d'expériences tendant à prouver que les craintes de troubles dans les gazogènes sont sans fondement ou à peu près. M. Lymn s'exprime ainsi :

« On a dit que les gazogènes sont difficiles à conduire; mais, en réalité, on trouve considérablement plus facile de conduire un gazogène établi sur les principes rationnels que de conduire une chaudière. Je voudrais insister sur les mots « principes rationnels ». C'est un fait connu qu'avec le vieux type de gazogène, dans lequel on utilisait une couche de combustible d'environ 60 centimètres d'épaisseur, la variation dans la qualité du gaz était très grande; mais il serait tout aussi juste de comparer la vieille chaudière à ballon au moderne générateur avec tubes d'eau, que de comparer les premiers gazogènes à ceux de construction moderne. J'établirai par expérience qu'avec

un gazogène unique, la qualité du gaz produit ne varierait pas de plus de 5 0/0 au-dessus et au-dessous de la moyenne; et cette faible variation, qui n'affecterait en aucune façon la marche du moteur, devient insignifiante dans une batterie de gazogènes. Je crois pouvoir ajouter qu'aucune chaudière ne peut être conduite, dans la pratique courante, avec un tel degré de constance.

« On a dit que les gazogènes nécessitaient un charbon spécialement choisi. Ceci est également de l'histoire ancienne; actuellement, un bon gazogène peut fournir d'excellents résultats avec des charbons de toutes provenances, et c'est très rarement qu'un charbon doit être rejeté. Il est tout à fait certain que beaucoup de combustibles qui seraient refusés comme impropres à l'alimentation des chaudières, peuvent être utilisés dans des gazogènes convenablement construits.

« Il semble généralement admis, par plusieurs ingénieurs des stations centrales, que les progrès des installations de gazogènes, n'ont pas suivi les progrès des moteurs à gaz. Mais mon expérience personnelle m'a convaincu du contraire, et je peux montrer de grandes installations, de 10,000 HP et au-dessus, qui n'ont pas été arrêtées une heure durant cinq à dix ans, ainsi qu'une installation qui gazéifie, avec récupération d'ammoniaque, 200 tonnes de charbon par jour; cette installation n'a jamais été arrêtée durant une période de quinze années, excepté pour un court laps de temps à la

suite d'un incendie. Je suis persuadé qu'avec de pareils exemples, nous devons considérer la sûreté de marche des installations de gazogènes comme un fait accompli ».

De son côté, après avoir fourni sur une installation de moteurs à gaz les chiffres intéressants que nous publierons plus loin, le docteur Drawe s'exprime ainsi sur le même sujet :

« Les gazogènes ont été amenés en Angleterre (son pays) à un plus haut degré de perfectionnement qu'en Allemagne, et les ingénieurs allemands s'efforcent aujourd'hui d'appliquer l'expérience anglaise dans leur construction. J'ai la certitude qu'une combinaison de gazogènes anglais avec moteurs à gaz, d'après les principes des constructeurs allemands, constitue une installation tout à fait sûre et économique ».

Récupération de sulfate d'ammoniaque

Les auteurs ont estimé la production d'ammoniaque à 40 kilogrammes environ par tonne métrique. Le professeur Threlfall trouve qu'un tel nombre ne serait généralement pas atteint avec les charbons couramment employés. D'autre part, M. Lymn estime qu'en règle générale on peut compter, par tonne métrique de charbon ordinaire, sur une récupération de 35 à 45 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque; il pourrait citer une douzaine d'installations fonctionnant dans des régions très variées de l'Angleterre, dont la récupé-

ration moyenne s'élève à environ 40 kilogrammes par tonne de charbon gazéifié; dans deux installations, elle atteint 45 kilogrammes. M. Allen fixe à 41 kilogr. 400 l'ammoniaque extrait par tonne de charbon convenable, et M. Stewart cite une production de 37 kilogr. 500 par tonne de charbon valant 8 fr. 83 déchargé à l'usine. Comme le souligne le professeur Threlfall, la quantité d'ammoniaque récupérable dépend de la composition du combustible; et M. Addenbrooke émet l'excellente idée que les constructeurs de gazogènes devraient dresser une liste indiquant la quantité d'ammoniaque qu'on peut retirer des principales variétés de charbon. Pour obtenir un devis plus général, les auteurs ont admis seulement, dans leur état comparatif amendé, une production de 38 kilogrammes par tonne métrique.

MM. Pearce et Stewart doutent que le prix de la tonne de sulfate d'ammoniaque, compté à 273 fr. par les auteurs, soit maintenu à ce nombre si la production de ce bas produit augmente. D'un autre côté, d'après le docteur Bowman, il y aurait une demande croissante de bas produits provenant des gazogènes à charbons bitumineux, et M. Sturgeon cite quelques chiffres intéressants montrant que le prix du sulfate d'ammoniaque s'est constamment accru depuis l'époque où le docteur Mond introduisit son système de récupération. « A cette époque, le prix du sulfate d'ammoniaque n'était que de 183 francs environ la tonne métrique; dès 1907,

Conducteur de moteurs.

11

le prix moyen fut de 293 fr. 80. Les dépôts de salpêtre du Chili présentent des signes d'épuisement ; et il se peut que, dans l'avenir, on n'ait plus à compter que sur les engrais manufacturés. La demande d'engrais est énorme dans le monde entier, et le sulfate d'ammoniaque conserve son rang malgré la concurrence d'autres engrais artificiels, tels que cyanamide de calcium, nitroline, etc. Il faudra un grand nombre d'années avant que le débit de production de ce produit soit tel, par rapport à la demande, que le prix en soit sérieusement affecté ».

M. Lynn fait ensuite allusion à une intéressante installation entreprise au Nottinghamshire par la Power Gas Corporation, dans l'unique but de retirer l'ammoniaque du charbon, la plus grande partie du gaz produit étant entièrement perdue, c'est-à-dire brûlée dans l'air ; 150 tonnes de charbon seront ainsi gazéifiées journallement. M. Mac Cowen demande quelle est la dimension minimum d'installation à partir de laquelle la récupération devient économique ; le docteur Bowman place la limite minimum à 4 000 HP, mais les auteurs font remarquer que c'est là aussi bien une question de facteur de charge que de puissance d'installation ; ils estiment qu'avec un facteur de charge élevé, on peut encourir les frais de l'installation à récupération, même dans le cas où le débit maximum ne dépasse pas 2 000 kilowatts. Au surplus, c'est une question à déterminer dans chaque cas ;

le tout est que la production d'ammoniaque soit suffisante pour couvrir les frais supplémentaires de premier établissement et de personnel, entraînés par l'installation de récupération. M. Dixon prétend que dans une grande installation à facteur de charge élevé, la vente de l'ammoniaque peut atteindre le prix du combustible employé, et M. Lymn fixe le bénéfice réalisé à 7 fr. 45 par tonne métrique de charbon gazéifié. M. Highfield, se rapportant aux résultats de M. Allen, cite un bénéfice de 8 fr. 80 environ par tonne de charbon.

Installations auxiliaires

L'enseignement à retirer de la discussion sur ce point particulier c'est que, pour l'alimentation en vapeur des machines et appareils auxiliaires, ainsi que des gazogènes, on ne saurait s'en tenir à une installation de chaudières chauffées aux gaz d'échappement des moteurs, et qu'il est nécessaire de se constituer une réserve assez sérieuse sous la forme de chaudières à charbon. Ces considérations sont surtout applicables lorsque les installations sont appelées à fonctionner durant de longues périodes à une charge élevée, ou encore lorsque les moteurs subissent des arrêts et démarrages fréquents. Il faut observer, toutefois, que ces chaudières de réserve pourraient être largement alimentées par les résidus goudronneux provenant des gazogènes; d'après M. Stead, les usines Westinghouse emploient ce procédé sur une vaste échelle : une

maison de Liverpool fournit depuis peu des brûleurs à goudron qu'on peut adapter aux chaudières, 1 152 kilogrammes de goudron correspondant à 1 000 kilogrammes de charbon.

On peut se demander, avec M. Sowter, ce qui justifie l'emploi d'excitatrices indépendantes à commande de vapeur, au lieu d'excitatrices directement accouplées aux alternateurs. La raison en est simple : une quantité considérable de vapeur est reprise par les gazogènes ; cette vapeur n'ayant besoin que d'être à la pression atmosphérique, l'emploi de la vapeur d'échappement des groupes d'excitation est tout indiqué.

Sécurité de marche

MM. Pearce et Watson, bien qu'entièrement convaincus de la sûreté de marche du moteur à gaz, demandent si l'on peut avoir une égale confiance dans le fonctionnement du gazogène. Nous avons déjà mentionné l'opinion de plusieurs ingénieurs sur cette question, et cette opinion est à peu près unanime : le gazogène a atteint, en Angleterre, un degré de perfectionnement qui permet de considérer cet appareil comme au moins aussi sûr que la chaudière. Voici comment s'exprime un éminent ingénieur-conseil anglais, M. Humphrey :

« Le gazogène peut vaincre la chaudière à tous points de vue ; il est plus efficace, plus scientifique, plus souple dans son fonctionnement, il répond mieux aux demandes et dépense moins en

pure perte lorsque la demande est nulle. Il est plus simple à conduire et moins dangereux ; il exige moins de réparations ». Quant à la sûreté de marche, M. Humphrey cite une installation de la *South Staffordshire mond Gas Company* (station centrale de Dudley Port), fonctionnant depuis le début de 1905, avec une parfaite régularité.

MM. Pearce et Watson ont visité durant l'été 1908, en compagnie d'autres ingénieurs anglais, les installations de moteurs à gaz du Continent ; ils sont rentrés de leur voyage entièrement convaincus que le grand moteur à gaz a dépassé la phase préliminaire d'expérimentation, et constitue aujourd'hui un moteur primaire aussi sûr que le grand moteur à vapeur. « Si quelques-uns parmi nous, ajoute M. Watson en s'adressant aux ingénieurs présents, ont quelque doute dans leur esprit à ce sujet, je leur conseillerais seulement d'aller en Allemagne et de voir marcher quelques-uns de ces moteurs ; ils rentreront avec la certitude que le grand moteur est une machine absolument pratique. L'une des usines que nous visitâmes comprenait douze groupes de moteurs, de plus de 2 000 HP chacun, et je puis vous assurer que la vue de cette vaste salle de machines, de 80 mètres de long sur 70 mètres de large, était une nouveauté pour nous, ingénieurs anglais ». Pourtant, si l'on en croit M. Highfield, les constructeurs de moteurs à gaz chercheraient encore leur voie ; ceci peut sembler curieux à établir si l'on considère que, d'après les

résultats publiés, la puissance globale des gros moteurs à gaz d'au moins 1 000 HP dépassait de beaucoup, à la fin de 1908, le total de 1 000 000 HP. Au surplus, M. Highfield est convaincu lui-même des avantages du moteur à gaz, et ajoute qu'« il est absurde de supposer que la machine à vapeur ne sera jamais remplacée ». Son opinion ne diffère de celle de la plupart de ses collègues, que par le mode d'introduction du grand moteur à gaz dans les grandes stations modernes; il est partisan du système mixte, c'est-à-dire de l'introduction graduelle des grands moteurs à gaz qui marcheraient jour et nuit pour satisfaire à la majeure partie de la charge.

MM. Allen, Hancock, Harris et Tatlow fournissent tous des exemples tendant à prouver la sûreté de marche des grands moteurs à gaz.

Marche en parallèle

C'est là un point de grand intérêt; M. Humphrey fournit de nombreuses et intéressantes courbes d'effort tangentiel sur l'arbre manivelle, et de vitesse angulaire pour de grands moteurs. Ces courbes seraient d'une très grande utilité pour les constructeurs de moteurs et de génératrices, ainsi que pour les ingénieurs-conseils; nous regrettons de ne pouvoir les reproduire. Elles confirment qu'il est aisé d'obtenir un degré d'irrégularité fournissant une marche en parallèle très satisfaisante.

Rendements thermo-dynamiques

Le haut rendement thermique global de l'ensemble gazogène et moteur à gaz, comparativement à l'ensemble chaudière et turbine à vapeur, semble universellement admis. MM. Handcock, Stead, Kinsey et D^r Drawe fournissent d'intéressants exemples d'économie réalisée par les moteurs à gaz; il faut remarquer avec M. Handcock que lorsque la dimension de l'installation décroît, les frais d'établissement par kilowatt installé restent les mêmes avec les moteurs à gaz, tandis qu'ils augmentent avec les machines à vapeur; de même, la consommation par cheval-heure restera sensiblement la même dans le premier cas, tandis qu'elle s'élève dans le cas des machines à vapeur. — « Pour citer des chiffres atteints en pratique, ajoute M. Handcock, nous dirons qu'à l'une de nos stations, avec un débit de moins de 150 kilowatts, uniquement sur réseau d'éclairage donnant un très mauvais facteur de charge, les dépenses de combustible, en employant du coke à un prix moyen de 19 fr. 85 la tonne métrique, ne dépassent pas 2 c. 62 par unité (kilowatt) ». M. Stead cite le cas d'un moteur Westinghouse de 750 HP environ, installé dans une filature, et qui consomme 544 grammes de charbon par cheval-heure effectif; le docteur Drawe fournit les résultats qu'il a récemment obtenus d'une installation de moteurs à gaz produisant annuellement 35 millions de kilowatts-

heure, avec un facteur de charge de 65 0/0 environ : la dépense effective de combustible, en prenant du charbon à 13 fr. 65 la tonne métrique, s'élève à 0 fr. 62 le kilowatt-heure, contre les 82 centimes auxquels sont parvenus les auteurs dans l'établissement de leur devis. Voici, à titre documentaire, les autres chiffres relatifs à cette installation de 35 millions de kilowatts-heure par an :

Graissage, eau et réparations	0. c. 756	par kilowatt-heure
Intérêts et amortissement à 15 0/0	1 c. 288	—
Dépenses totales	2 c. 688	—
Facteur de charge, 65 0/0.		

Le docteur Drawe fournit, en outre, les résultats d'exploitation d'une grande installation fonctionnant au gaz de four à coke et produisant 40 000 kilowatts :

Intérêts et amortissement	1 c. 575	par kilowatt-heure
Autres dépenses	1 c. 103	—
Dépenses totales	2 c. 678	—
Facteur de charge, 65 0/0.		

MM. Watson et Fedden émettent l'opinion que la comparaison avec les turbines à vapeur devrait être basée sur une consommation de combustible de 1 kg. 360 pour les installations à vapeur, plutôt que sur le chiffre de 1 kg. 610 admis par les auteurs. Ceux-ci font remarquer qu'une aussi faible consommation, dans les conditions réelles de service por-

tant sur une période de douze mois, pour une installation marchant 24 heures par jour et ayant un facteur de charge inférieur à 30 0/0, est rarement atteinte. Ils admettent toutefois qu'un tel nombre est dans les limites de la possibilité, et ils l'ont adopté dans l'établissement de leur devis comparatif amendé.

Pertes par combustion au repos

On sait que les auteurs ont admis une dépense en charbon de 11 kg. 200 par heure et par 1 000 kg. de capacité vaporisatrice, pour l'entretien des feux dans les chaudières, M. Donkin trouve ce chiffre exagéré, et il cite les résultats de quelques essais effectués en 1894 et 1895 par sir Alexandre Kennedy, desquels il résulterait que la dépense ne dépasserait point 5 kg. 750 par heure et par 1 000 kg. de capacité vaporisatrice, soit, en d'autres termes, 4 kg. 900 environ par mètre carré de grille et par heure (essais effectués sur petites chaudières à tubes d'eau, grille à main, charbon du Pays de Galles). M. Donkin cite également les résultats d'un essai tout récent, exécuté sur une grosse chaudière moderne à tubes d'eau, d'un débit maximum de 13 600 kilog. de vapeur à l'heure, munie d'une grille mécanique à chaîne et de foyer Miller. Cet essai d'entretien des feux, d'une durée de seize heures et demie, pendant laquelle on prit soin de maintenir la pression constante et à sa valeur normale de service, révéla une dépense de seulement

2 kg. 500 de charbon par heure et par 1 000 kilogr. de capacité vaporisatrice, soit environ 2 kg. 450 par mètre carré de surface de grille et par heure. Le charbon employé consistait en fines de Midland à environ 15 francs la tonne.

D'un autre côté, MM. Pearce et Dowson confirment les chiffres fournis par les auteurs, le premier d'après les résultats qu'il obtint à Manchester dans les conditions réelles de service : la consommation de combustible pour l'entretien des feux fut trouvée égale à 2 kg. 700 environ par jour et par kilowatt installé. Si l'on compare ce résultat à celui fourni par les auteurs (203 kilogr. par heure et par unité installée), on voit qu'ils sont assez semblables.

D'après des essais de M. Lymn, portant sur de longues périodes et dans les conditions normales de service, les pertes par combustion au repos dans les gazogènes s'élèveraient à environ 5 kg. 350 par 1 000 HP et par heure de marche à feu couvert. On peut voir que cette dépense n'atteint pas la moitié de celle prévue par les auteurs dans leur devis.

Pertes à vide

Ces pertes devraient être l'objet d'une plus grande attention dans les stations centrales; la coutume générale consiste à considérer seulement la consommation comparative de vapeur ou de combustible à pleine charge, tandis qu'en réalité les pertes à vide sont d'importance égale. Les auteurs ont été

félicités pour avoir apporté une méthode claire dans la détermination de ces pertes ; cette méthode est une application de la loi de Willans, dont le principe fondamental est que si la consommation à vide et la consommation à pleine charge d'une installation générale sont connues, il est possible de déterminer immédiatement la consommation approximative pour toute charge intermédiaire. — « D'après la loi de Willans, dit M. Taylor, on sait qu'une portion de la vapeur admise dans la machine peut être considérée comme une perte constante ou à peu près, pour toutes charges, tandis qu'une autre portion est directement proportionnelle à la charge. Cette dernière partie correspond dans une grosse turbine à environ 6 kg. 350 de vapeur ou 0 kg. 900 de charbon (d'un pouvoir calorifique de 5550 calories) par kilowatt produit, alors que dans les stations employant de telles turbines, la consommation s'élève de 1 kg. 360 à 1 kg. 825 de charbon. La différence ne peut être attribuée qu'à certaines pertes de nature constante se produisant dans les chaudières, la tuyauterie, les machines et les auxiliaires. 5 0/0 à peine de cet excédent sont attribuables à l'écart en service courant des conditions toutes spéciales des essais relativement à la pression de la vapeur, au degré de surchauffe et au vide ».

Prix du charbon

MM. Woodhouse et Watson émettent l'opinion que les chaudières peuvent être alimentées avec un

charbon de prix moindre que celui nécessité par les gazogènes. Mais plusieurs ingénieurs (MM. Sehmer, Lymn, Douglas et Stewart) citent de nombreux cas où les charbons brûlés dans les gazogènes étaient d'une qualité inférieure à celui qu'on peut tolérer sur les grilles de chaudière. M. Sehmer rend compte d'essais faits en Allemagne avec des rebuts schisteux et de poussier mélangés avec de l'eau, et provenant d'installations de lavage et de criblage; ces essais ont donné de très bons résultats: un gazogène fut alimenté durant douze mois avec cette mixture, et le gaz produit avait un pouvoir calorifique d'environ 1 070 calories par mètre cube. Un moteur Sehmer fonctionne en Angleterre au gaz Mond produit par du charbon à 7 fr. 45 la tonne.

M. Douglas fait remarquer que, par suite des inconvénients de la fumée dans les villes, on est souvent conduit, pour atténuer ces inconvénients, à employer sur les grilles de chaudières des charbons de qualité supérieure; il cite l'exemple de la station à vapeur de Londres où le prix du charbon varie de 13 fr. 50 à 17 francs la tonne métrique. Au surplus, le prix du combustible dépend beaucoup des conditions locales.

M. Sturgeon signale l'emploi possible de la tourbe qui peut fournir, selon lui, 50 kilogr. de sulfate d'ammoniaque par tonne (d'après M. Lymn, la *Power Gas Corporation* aurait déjà réalisé trois installations de gazogènes à tourbe, l'une étant

destinée à une station de distribution d'énergie électrique en Italie).

Batteries combinées avec moteurs à gaz

M. Taylor présente d'intéressantes remarques sur l'emploi de batteries d'accumulateurs pour répondre aux pointes de charge, ce qui a pour résultat de réduire les frais d'établissement de la station génératrice et des feeders, puis d'améliorer le facteur de charge des moteurs. Le mauvais rendement des batteries, qui constituait une objection insurmontable à leur emploi dans les stations de machines à vapeur, n'entre plus en considération depuis qu'on peut obtenir des premiers moteurs ne consommant pas plus de 450 grammes de charbon par kilowatt-heure additionnel. Les auteurs admettent qu'en adoptant le principe de M. Taylor, on peut économiser annuellement au moins 1 625 tonnes sur la quantité de charbon nécessitée dans l'installation hypothétique des moteurs à gaz qu'ils ont étudiée; ils introduisirent cette économie dans leur devis estimatif amendé.

Un autre avantage résultant de l'emploi de batteries est celui-ci : tandis que la consommation du combustible diminue de 10 0/0, la quantité de sulfate d'ammoniaque récupéré sera plus grande parce que l'installation entière de gazogènes sera à « récupération » et non plus avec moitié à « non-récupération », comme dans l'installation étudiée par les auteurs.

Chaudières chauffées au gaz

MM. Woodhouse et Addenbrook soulèvent la question de l'emploi de gazogènes à récupération d'ammoniaque, pour produire du gaz destiné à être brûlé dans les chaudières. A ce sujet, les auteurs rappellent ce qu'écrivait M. Bryan Donkin dans son ouvrage *Gas and Oil Engines* : « La même quantité de gaz fournira 1 HP, si on l'emploie à chauffer une chaudière, et 3 HP si on le brûle directement dans le cylindre d'un moteur à gaz ».

Bien qu'actuellement, ajoutent les auteurs, il soit possible d'obtenir dans une installation à vapeur de meilleurs résultats qu'à l'époque où ces lignes furent écrites, notre opinion demeure que le gaz employé à la production de vapeur pour la machine à vapeur la plus économique qui soit actuellement construite, fournit moins d'un tiers de l'énergie qu'on peut retirer en employant ce même gaz dans un moteur à combustion interne. De plus, le capital immobilisé en gazogènes, chaudières et machines à vapeur, serait supérieur à celui nécessité par les gazogènes et moteurs à gaz seuls. Les frais de réparations et autres dépenses d'exploitation seraient aussi, sans aucun doute, plus importants.

Réparations

Plusieurs ingénieurs émettent l'opinion que les frais de réparations pour l'ensemble à gaz seront

plus élevés que pour l'ensemble à vapeur. Voici le tableau présenté par M. Woodhouse sur les frais d'exploitation qu'entraîneraient, selon lui, les installations étudiées par les auteurs.

Dépenses en centimes par kilowatt-heure :

	Gaz	Vapeur
Combustible, prix net	0,830	2,394
Réparations.	1,050	0,525
Chiffons de nettoyage, etc.	0,535	0,357
Intérêt, amortissement à 12 0/0	<u>2,520</u>	<u>1,512</u>
Totaux.	4,935	4,788

On voit que ces nombres diffèrent beaucoup de ceux admis par les auteurs. En particulier, les frais de réparations sont estimés pour l'installation à gaz, au double de ceux de l'installation à vapeur.

M. Fox cite les chiffres obtenus dans une installation de turbines d'un débit total de 200 000 HP; la moyenne des réparations, pour une période de quatre années, n'a pas dépassé 63 centimes par kilowatt et par an pour les turbines, alternateurs et installations de condensation.

De son côté, M. Pearce estime que le chiffre des réparations pour la station à vapeur étudiée, est trop élevé de 25 0/0. M. Chattock, après avoir visité de nombreuses installations en Allemagne, croit pouvoir conclure que les frais de réparations des moteurs à gaz, malgré les efforts plus grands développés dans les cylindres et l'usure plus considérable, ne seront pas beaucoup plus élevés que

pour l'installation à vapeur ; par contre, son opinion est que les réparations des gazogènes pourraient être plus lourdes. A ce sujet, M. Allen s'appuyant sur les chiffres réellement obtenus en pratique, estime au contraire que le gaz présente une économie de 760 francs environ par semaine sur la vapeur : une station à vapeur produisant annuellement 25 millions de kilowatts-heure, nécessiterait en réparations de chaudières, tuyauteries et auxiliaires, une dépense de 1 040 francs par semaine ; tandis qu'une station avec moteur à gaz de même puissance, n'exigerait qu'une dépense de 380 francs pour réparations des gazogènes, installation de récupération d'ammoniaque et auxiliaires ; soit une économie annuelle d'environ 38 000 francs.

Sur le même sujet, M. Lymn s'exprime ainsi : « On entend dire parfois que les réparations d'une installation de gazogènes sont plus coûteuses que celles d'une installation de chaudières. Ceux qui émettent une telle opinion ignorent sans doute qu'il existe de nombreux cas de gazogènes ayant fonctionné continuellement jour et nuit durant trois, quatre et même cinq ans, et qui, arrêtés, vidés et examinés au bout d'une telle période, n'ont nécessité que des réparations sans importance, et ont pu être remis en marche aussitôt... Il est malheureusement toujours difficile, pour les fournisseurs, d'obtenir des firmes privées les frais d'exploitation ; mais je suis en mesure de présenter des chiffres intéressants concernant les réparations

d'installations de gazogènes. Dans une installation à récupération d'ammoniaque, d'un type aujourd'hui abandonné et qui fonctionnait continuellement à pleine charge, les frais de réparations, huiles, chiffons, assurances, frais divers, etc., furent de 28 980 francs pour une année entière ».

Dans les installations modernes convenablement établies, ce nombre est de beaucoup réduit. Voici les frais de réparations de trois installations de gazogènes sans récupération d'ammoniaque :

1° 2 000 HP, quatre années, 3 680 francs, soit 920 francs par an ;

2° 1 000 HP, en 1908, 252 francs ;

3° 1 000 HP, en 1908, 1 060 francs.

Ces installations fonctionnent d'une façon intermittente, avec une charge variant de 22 à 27 0/0.

Pour les réparations aux moteurs, on a vu que les auteurs ont estimé à 100 000 francs les dépenses annuelles de toute la station, les frais d'entretien des gazogènes et appareils de récupération ayant été évalués à 12 600 francs ; si l'on admet que les bâtiments d'installations auxiliaires entraînent 7 600 francs de frais annuels, c'est une somme de 79 800 francs que les auteurs ont prévue pour l'entretien des moteurs à gaz et des alternateurs. M. Miaskowski estime que la moitié de ce total serait à peine atteint avec les moteurs modernes bien conduits ; si, par conséquent, on prend 40 000 francs, les dépenses par kilowatt-heure,

pour réparations des moteurs et génératrices, seraient de 0 c. 192. A l'appui de son opinion, l'orateur indique les résultats recueillis par la maison de Nuremberg, à laquelle il est attaché : les dépenses moyennes de réparations de plusieurs installations de moteurs à gaz, fonctionnant toutes avec un semblable facteur de charge, s'élèvent seulement à 0 c. 0893 par kilowatt-heure. De son côté, M. Sehmer s'offre à garantir que les dépenses totales de réparations d'une station complète avec moteurs à gaz de 10 000 kilowatts ne dépasseraient pas 63 000 francs, contre le total de 100 000 francs admis par les auteurs.

Enfin, MM. Stewart et Robinson fournissent également quelques détails pratiques qui justifient cette dernière estimation. D'après M. Stewart, la note de réparations du moteur de laminoir de 1 500 HP, dont il a été déjà parlé, pour une marche continue de douze mois (1908), comprenant deux visites semestrielles, s'est élevée à 3 013 francs. Pour un groupe électrogène avec moteur à gaz de 500 HP, les frais de réparation atteignirent 2 308 francs dans la même période.

M. Robinson compare les frais d'exploitation de l'ensemble à gaz des usines John Cockerill, de Seraing, aux chiffres fournis par les auteurs. Il emprunte les résultats présentés par M. Greiner, ingénieur en chef de la Société Cockerill, dans une communication à la Société des Ingénieurs de Liège (mars 1907). Les voici, à titre documentaire :

Facteur de charge	Dépenses de réparations en centimes, par kilowatt-heure
25 0/0	1,208
50 0/0	0,656
75 0/0	0,438
100 0/0	0,329

Pour le facteur de charge de 25 0/0, les dépenses par kilowatt-heure se répartissent ainsi :

	Usines Cockerill	Estimations de MM. Andrews et Porter
Personnel	0,433	0,380
Réparations, nettoyage et entretien	0,539	0,546
Graissage	0,246	0,156
Totaux	1,218	1,082

On voit que les chiffres admis comme frais de réparations par les auteurs, sont plutôt supérieurs à ceux obtenus à Seraing.

Comme conclusion, les mêmes auteurs ont cru devoir adopter une dépense de 76 000 francs, pour l'installation à vapeur aussi bien que pour l'ensemble à gaz dans leur devis amendé.

Huile

On a vu que, pour les moteurs à gaz, les auteurs ont compté sur une consommation d'huile de 1 l. 680 par 1 000 HP-heure, cette huile valant environ 42 centimes le litre. MM. Stewart et Miaskowski trouvent ce prix trop élevé. M. Stewart

emploi de l'huile à 25 centimes environ le litre, et la consommation s'est élevée pour une année de marche, à 1 l. 36 par 1 000 HP-heure. Selon M. Miaskowski, le nombre de 1 l. 09 est largement suffisant et comprend, en plus des moteurs et des alternateurs, le graissage des compresseurs et des pompes alimentaires.

Eau

Ce point soulève les critiques de plusieurs ingénieurs qui trouvent l'estimation des auteurs trop élevée. La quantité d'eau de circulation a été indiquée aux auteurs par des maisons spéciales et est basée sur la réalisation d'un vide de 686 millimètres (27 pouces); on a compté sur une évaporation de 3 0/0.

Quant à la dépense nécessitée par cette eau, les mêmes auteurs reconnaissent que le taux de 0 fr. 138 le mètre cube admis dans leur devis, peut être réduit au tiers dans la plupart des cas par le fonçage d'un puits et l'installation d'une pompe. Ils ont introduit cette réduction dans leur devis final.

Intérêts et amortissement

D'après M. Allen, la dépréciation de l'installation à gaz ne sera pas supérieure à celle de la vapeur. M. Douglas considère que 10 0/0 est un pourcentage convenable pour les intérêts et amortissements des moteurs à gaz ou des turbines; mais MM. Fox

et Woodhouse le trouvent trop faible. La moyenne des intérêts et amortissements des diverses entreprises publiques de distribution d'énergie électrique est, en Angleterre, de 8,5 0/0 environ. C'est du reste le chiffre proposé par M. Pearce, et les auteurs ont cru devoir l'adopter dans leur devis amendé.

Personnel

M. Highfield émet l'idée que l'un des plus grands inconvénients de l'emploi des grands moteurs à gaz en Angleterre est la difficulté de trouver des ouvriers habiles pour la conduite de telles installations, et d'avoir des ingénieurs connaissant bien les moteurs à combustion interne. Les auteurs font remarquer que pareille objection fut soulevée lors de l'introduction des premières turbines à vapeur. « On ne peut raisonnablement supposer, ajoutent-ils, que d'aussi légères difficultés retarderont sérieusement l'introduction d'un moteur primaire qui, si aucune autre invention ne vient le remplacer, réalisera en fin de compte une économie de plusieurs millions de tonnes de charbon par an ».

A la fin de la discussion, les mêmes auteurs ont présenté le tableau des dépenses totales d'exploitation pour la production annuelle de 21 millions de kilowatts-heure, avec facteur de charge de 24 0/0, revu d'après les opinions exprimées. Le voici :

	Gaz	Vapeur
	En francs	
Coût total du charbon, à 15 francs la tonne anglaise.	285.500	422.400
Vente de sulfate d'ammoniaque, à déduire.	148.000	»
Dépense nette de charbon.	137.500	422.400
Huile, déchets, etc.	33.900	11.040
Eau.	4.600	23.180
Personnel.	80.200	64.200
Réparations.	76.000	76.000
Rente sur terrain supplémentaire. .	5.000	5.000
Intérêts et amortissements à 8,5 0/0.	321.700	269.900
Dépenses totales.	658.900	871.720
Dépenses par kilowatt-heure.	3 c. 14	4 c. 13

Le prix de génération de l'énergie par la vapeur, dans les conditions spécifiées, dépasse donc de près d'un tiers celui de la génération par les moteurs à gaz. Donc...

DEUXIÈME PARTIE

MOTEURS A PÉTROLE

CHAPITRE XI

Pétroles

SOMMAIRE. — I. Composition. — II. Utilisation du pétrole lampant.

I. COMPOSITION

Ainsi que l'indique son étymologie, le pétrole est une huile de pierre, ou si l'on préfère, une huile minérale dont nous avons déjà mentionné l'origine européenne et surtout américaine.

Au point de vue chimique, les pétroles sont difficiles à définir élémentairement, d'autant plus que leur composition varie avec leur origine, c'est-à-dire avec chaque puits d'extraction. Leurs qualités dépendent notamment des quantités d'éther, de gazoline, d'huile lampante et d'huile lourde qu'ils peuvent donner.

La gazoline ou pétrole léger, encore plus connue sous le nom de benzine, a une densité variable entre 0,70 et 0,75. Très volatil, ce produit s'enflamme à 5°, parfois même à 0°; aussi son emploi

est-il des plus dangereux et sert-il à la carburation de l'air destiné aux moteurs.

L'huile lampante (dont nous reparlerons ci-après) se compose des produits qui passent à la distillation entre 150 et 275°, raffinée par un traitement à l'acide sulfurique, avec lavages à l'eau pure puis à l'eau alcalinée, ce qui donne un produit incolore et très fluide. Le pétrole lampant, rectifié, ne doit pas s'enflammer au-dessous de 35° (condition légale en France) : ce que l'on peut aisément contrôler dans une capsule de porcelaine où plonge le fond d'un thermomètre, et, dès que ce dernier accuse 35°, on promène une flamme à la surface du liquide dont les vapeurs ne doivent point prendre feu.

Enfin, on doit se méfier de l'huile lourde, que certaines raffineries, à cause de son bon marché, incorporent dans les pétroles du commerce dès lors trop inflammables (1).

II. UTILISATION DU PÉTROLE LAMPANT

Nous trouvons dans la *Technique moderne* (1909) un intéressant article du spécialiste M. Lumet, dont nous allons nous inspirer pour les besoins de ce petit chapitre.

Rappelons d'abord que la caractéristique essentielle des moteurs à mélange tonnant utilisant le cycle à quatre temps, est la formation d'un mélange

(1) Pour plus de détails sur les pétroles, consulter le *Manuel des Huiles Minérales* (ENCYCLOPÉDIE-RORET).

bien dosé en comburant et combustible, mais hors du moteur, dans le carburateur. Ce mélange tonnant doit être gazeux, préparé pour la *combustion la plus instantanée possible*, sous l'influence de l'étincelle d'allumage ; car il s'agit de réaliser une rapidité toujours plus vive de la combustion, en vue d'augmenter la pression maximum d'explosion.

N'oublions point que le moteur à *mélange tonnant* est bien un moteur à *combustion interne*, mais que ce dernier, qui utilise un combustible liquide susceptible de former un mélange tonnant, a des caractéristiques spéciales. On est ainsi mis en garde contre l'utilisation de combustibles peu volatils dans ce type de moteur, construit pour être alimenté avec un mélange tonnant bien préparé en dehors de lui. On veut effectivement utiliser non une explosion, mais bien une *combustion ralentie*, ainsi que nous allons le voir.

Emploi du pétrole lampant

L'emploi de ce pétrole dans le moteur à essence, caractérisé par sa grande vitesse angulaire, par la légèreté de ses organes et par son allumage électrique, fut longtemps considéré comme une question de gazificateur. Et M. Lumet dit qu'il lui a été donné d'étudier un assez grand nombre de ces adaptations, soit que l'on cherchât à utiliser le pétrole en le gazéifiant au préalable, soit encore qu'on l'introduisît dans le moteur en poussière finement pulvérisée.

Examen des diagrammes

Dans le cas du gazogène (transformation préalable du pétrole en vapeur avec formation de produits de dissociation), le diagramme le plus souvent réalisé donne une ligne rigoureusement verticale qui correspond à l'explosion. Cette ligne est toujours hachée, accusant que le piston de l'indicateur est projeté violemment.

Si l'on augmente la quantité de pétrole en vapeur, en réchauffant moins, on obtient des diagrammes de forme spéciale. Vers la fin de la période de compression, la courbe se relève, indiquant une augmentation de pression due à un commencement de combustion ; puis elle fléchit légèrement pour se relever ensuite, lorsque l'explosion se produit réellement.

Dans le cas de l'injection directe, le même phénomène se retrouve dans certains diagrammes, tandis que d'autres se rapprochent de la forme usuelle obtenue avec l'essence. Donc, de deux choses l'une : ou il y a explosion présentant un caractère fulminant, explosion due à la température très élevée du mélange gazeux et à la présence possible de combustibles gazeux endothermiques, ou bien il se produit une combustion irrégulière et incomplète lorsque, par exemple, les gouttelettes de pétrole subissent, au contact des parois, une décomposition pyrogénée se traduisant par des dépôts de carbone.

Un certain nombre de moteurs, d'allure assez rapide, ont donné des solutions relativement satisfaisantes par l'emploi d'un gazéificateur convenable; mais des conditions atmosphériques variables étaient susceptibles de provoquer des troubles dans le fonctionnement du moteur, et, d'une façon générale, tout changement dans les conditions de l'alimentation résultant, par exemple, d'un accroissement ou d'une diminution dans la vitesse angulaire de régime, enlevait dans le fonctionnement la régularité péniblement obtenue.

Si l'on admet que le gazéificateur soit tel que le mélange présente un caractère fulminant, il faut reconnaître que le moteur à essence, avec ses organes légers, n'est guère fait pour résister à des pressions instantanées aussi élevées. De même qu'on distingue des degrés de rapidité dans la combustion, de même on doit admettre des degrés de rapidité dans l'explosion. Si nous obtenons l'explosion à caractère fulminant, il nous faut la tempérer par l'injection d'eau, et dans ces conditions seulement nous parviendrons à un résultat satisfaisant.

Il est inutile d'ajouter que ce réglage d'alimentation en eau est particulièrement délicat, variable avec les conditions de l'état atmosphérique et avec la vitesse angulaire du moteur. Il faut noter qu'une solution adoptée consiste à diminuer la compression « volumique »; de cette manière, les effets nuisibles d'une explosion brutale sont évités aux

dépens du rendement thermodynamique. Au reste, si l'on admet que le pétrole puisse être introduit sous forme de vapeur, ou de poudre fine, il semble nécessaire de conclure que l'on cherche, dans le problème ainsi posé de l'utilisation du pétrole, à transformer le moteur à mélange tonnant en moteur à combustion interne.

Conséquences de l'emploi du pétrole lampant

Si le moteur est à grande vitesse angulaire, pour effectuer une combustion de pétrole lampant, il faudra un certain temps pour qu'on puisse obtenir une combustion à peu près régulière et complète. D'où, comme conséquence, une diminution de cette vitesse.

Si le moteur est à allumage électrique, quand il s'agit de brûler un mélange non explosif, l'étincelle devient insuffisante, et son action fulminante n'a plus l'effet constaté comme pour l'essence. L'étincelle de rupture d'une magnéto à basse tension donne une combustion plus régulière. Et il semble indispensable de ne point localiser l'élévation de température, mais bien de lui faire intéresser toute la masse du mélange non explosif.

Le dard de flamme qui pénètre à l'intérieur de la masse donne le meilleur résultat, ce qui confirme l'avantage d'une vitesse angulaire réduite avec allumage par jet de flamme. A son tour, cette dernière conséquence va être confirmée par une autre considération.

On sait que le mélange gazeux est difficilement inflammable; on doit donc s'efforcer d'en concentrer les molécules, en augmentant la compression jusqu'à atteindre l'auto-allumage. Le jet de flamme devient alors nécessaire pour assurer la précision de l'allumage; ainsi s'explique l'utilité des boules creuses régulatrices dont sont munis certains moteurs à pétrole lampant.

En ne considérant que les conditions à remplir pour utiliser un combustible de propriétés bien déterminées, M. Lumet est parvenu à définir le moteur à pétrole lampant tel qu'il existe. « Ce moteur s'appellera encore moteur à *mélange tonnant*, mais nous le croyons mieux défini en l'appelant moteur à *combustion rapide*; c'est le moteur à quatre temps Dan, ou celui à deux temps Mietz et Weiss. Tous deux tournent à des vitesses angulaires relativement peu élevées, 400 à 500 tours par minute; ils sont allumés par auto-allumage avec boules creuses régulatrices d'allumage et ont un point commun avec le Diesel : le mélange tonnant n'est pas préparé en dehors du moteur, l'air seul est comprimé en deuxième temps, et le pétrole s'injecte à la fin de la période de compression *pour y brûler rapidement* lors de l'auto-allumage.

« Ce sont là, à notre avis, des solutions particulièrement intéressantes de l'emploi du pétrole lampant dans des moteurs relativement légers, alors que le moteur à combustion interne proprement dit ne peut encore lutter avec ces derniers au point

de vue de la puissance massique, c'est-à-dire par kilogramme de poids. Mais, d'ailleurs, le pétrole lampant est-il bien le seul combustible qui convienne au Diesel? Ne faut-il pas espérer qu'en raison des conditions particulièrement favorables dans lesquelles le combustible est brûlé avec ce moteur, les huiles lourdes ne soient particulièrement désignées pour y être utilisées? ».

En attendant qu'on réponde à ces interrogations, qu'il nous suffise d'ajouter quelques mots sur le cycle Diesel. Au premier rang, l'air frais est comprimé à 30 ou 35 kilogr. par centimètre carré, compression qui a pour effet de porter la température de l'air de 500 à 600°. Au voisinage du point mort, on injecte du pétrole dans le cylindre, la loi d'introduction étant déterminée par la condition que la température demeure constante au fur et à mesure de la combustion et du déplacement du piston; cette phase n'est autre que la détente isothermique, suivie de la détente adiabatique qui commence dès que cesse l'admission du combustible.

Ces deux détentes représentent le deuxième temps. Enfin, le troisième temps est occupé par la période d'échappement et le quatrième sert à remplir le cylindre d'air frais.

CHAPITRE XII

Carburateurs

SOMMAIRE. — I. Carburation. — II. Type fondamental.

I. CARBURATION

La carburation de l'air peut s'opérer non seulement dans les gazogènes connus, mais encore dans d'autres appareils spéciaux qui sont moins encombrants et tout aussi ingénieux. Si l'on sature l'air à la température ordinaire de vapeurs d'essences volatiles (comme la gazoline, les éthers de pétrole, etc.), on obtient un mélange combustible dont les propriétés sont analogues à celles du gaz d'éclairage.

II. TYPE FONDAMENTAL

Un des premiers et des plus simples carburateurs est celui créé par MM. Mignon et Rouart (fig. 86). Se basant sur les indications du célèbre Lenoir, ces constructeurs lancèrent un appareil tournant, de forme cylindrique avec axe horizontal. Sa révolution dure cinq minutes, grâce à la roue *r* elle-même commandée par un pignon que meut le moteur. Notre coupe montre une suite de compartiments *c* remplis d'étoffe et séparés par autant

de cloisons verticales perforées. La gazoline humecte cette étoupe par capillarité, sous la rotation continue du récipient.

Entrant par *e*, l'air sort par *s*, puis se dirige vers le moteur, après s'être saturé de vapeurs combustibles. Le regard *d* permet de contrôler la présence du liquide en quantité suffisante.

On le voit, ce procédé est très simple et efficace, encore qu'on puisse reprocher à l'étoupe de perdre

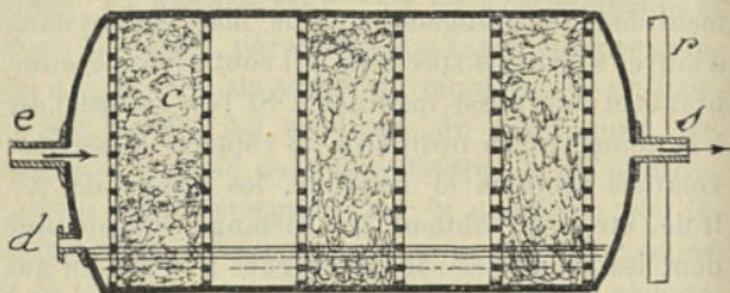


Fig. 86.

assez vite ses propriétés absorbantes ; mais on n'a qu'à la remplacer au fur et à mesure. D'autres appareils très nombreux sont usités en vue du même objet : tous sont plus compliqués et aucun n'offre une démonstration plus simple que le précédent.

CHAPITRE XIII

Allumage (1)



Régimes divers

On sait que le régime de détonation et de combustion ne dépend pas seulement de la qualité du mélange, mais aussi des conditions de son allumage, de son explosion, de sa détente, et notamment de la surface ainsi que de la température des parois qui l'emprisonnent, puis du rapport de cette superficie au volume des gaz, etc., — tous facteurs qu'il convient d'examiner attentivement.

La première remarque sur les phénomènes explosifs nous apprend que, même à volume constant, la détonation ne se produit jamais instantanément ; et elle se prolonge davantage quand le mélange explose derrière un cylindre qui bondit devant lui. Ce phénomène peut mieux s'expliquer depuis les travaux de MM. Mallard et Le Châtelier. Deux conditions sont indispensables pour que la combustion se propage dans un mélange gazeux : 1° il faut d'abord que le gaz soit bien inflammable, c'est-à-dire que sa combustion puisse s'effectuer en un point quelconque de sa masse sous une simple élé-

(1) Pour compléter ce que nous avons déjà noté dans la première partie.

vation de température; 2° il faut encore que le calorique issu de cette combustion soit assez considérable pour que la fraction transmise aux zones voisines du mélange non encore brûlées puisse les porter à leur température d'inflammation.

En d'autres termes, la vitesse de propagation de la flamme est intimement liée à la nature du mélange; mais comme toute cause extérieure de déperdition calorifique intervient dans le phénomène, cela explique le rôle prépondérant de l'action des parois et son influence complémentaire sur la vitesse de propagation de la flamme, encore activée par l'agitation mélangeante du gaz tonnant.

D'après M. Witz, les limites de combustibilité des mélanges de gaz sont bien définies. L'inflammabilité commence pour un mélange de 1 volume de gaz d'éclairage et environ 3 volumes et demi d'air; elle semble maximum avec 6 volumes d'air, et devient impossible pour l'étincelle d'induction au-dessus de 13 volumes, mais elle est encore accessible au dard de chalumeau et jusqu'à 16 volumes environ, — tous résultats intéressants les mélanges exposés à l'atmosphère.

Avec la pression, augmente la combustibilité: effet qui s'explique par le rapprochement des molécules et surtout par la diminution des surfaces refroidissantes pour une même masse de fluide.

D'autre part, le volume de l'allumeur a une grande influence sur l'inflammation des mélanges tonnants; c'est pourquoi l'étincelle d'induction,

malgré sa température très élevée (mais avec un très faible volume) ne peut toujours déterminer l'inflammation des mélanges peu combustibles qui, par contre, s'allument fort bien, soit par chalumeau, soit par transport de flamme, tous agents moins chauds mais bien plus étendus que l'étincelle électrique.

Longtemps, le meilleur allumage fut réalisé par Otto, qui préparait un mélange riche dans le canal d'allumage ; ce dernier faisait l'office d'une espèce de cartouche pour projeter un jet de flamme dans le mélange moins riche et plus dilué formé derrière le piston ; mais ce procédé a perdu de sa vogue, depuis que les constructeurs ont eu recours aux fortes compressions préalables qui permettent d'obtenir une meilleure combustion.

La combustion peut se propager suivant deux modes bien distincts, découverts par MM. Berthelot et Vieille. Avec les mélanges riches, il se produit une onde explosive qui se propage sous une vitesse bien supérieure à celle du son, pouvant atteindre 2000 mètres à la seconde ; ce qui ne se présente point dans les moteurs à gaz où l'on observe, non pas une déflagration instantanée, mais une détonation relativement lente et d'un tout autre caractère (avec une vitesse de 1^m 20 par seconde, correspondant au mélange le plus tonnant de 6 volumes d'air pour 1 volume de gaz).

M. Witz parlant ici au personnel, nous lui laisserons son texte : « Mes expériences personnelles

m'ont permis de mesurer les vitesses d'inflammation par un procédé tout différent de celui qui avait été employé jusque-là : c'est par l'observation des courbes de détente d'un gaz tonnant derrière un piston animé de vitesses variables. Quand la pression reste constante et que la ligne de détente est parallèle à l'axe des volumes (fig. 87), il est

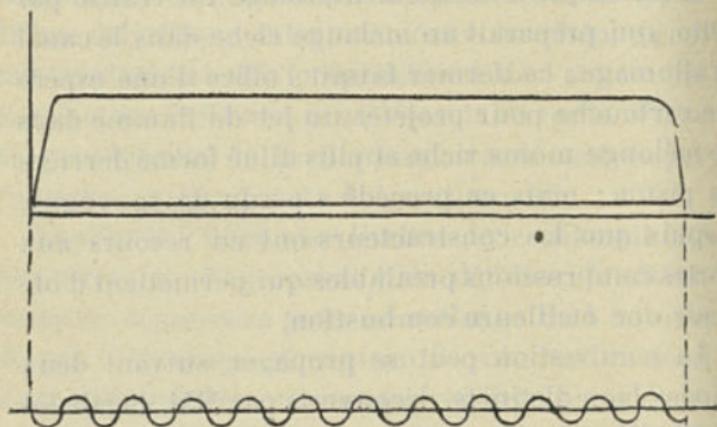


Fig. 87.

permis d'affirmer que la flamme a suivi le piston dans sa progression avec une vitesse égale à la sienne; dans ce cas, il n'y a donc qu'à mesurer la vitesse du piston pour connaître celle d'inflammation, ce qui est facile à l'aide du diapason enregistreur. Mes expériences m'ont conduit à des résultats voisins de ceux de MM. Mallard et Le Châtelier; je n'ai pu observer, sous la pression atmosphérique, de vitesse égale à 1^m60 et la moindre vitesse que

j'ai observée dépassait $0^m 24$; pour un même mélange, elle variait de $0^m 64$ à $0^m 24$, suivant la rapidité de la détente. Cette vitesse n'est pas absolue, mais elle est fonction de données complexes, parmi lesquelles l'action refroidissante de la paroi est certainement prépondérante, car on peut constater que la vitesse augmente quand la température de la paroi s'élève. La vitesse de la flamme augmente aussi avec l'agitation des gaz. Elle croît enfin avec la pression des gaz et avec leur température initiale ». Toutes particularités bonnes à connaître.

CHAPITRE XIV

Moteurs

—

SOMMAIRE. — I. Moteurs industriels.

II. Applications navales.

I. MOTEURS INDUSTRIELS

Ces moteurs se répandent de plus en plus, notamment dans les campagnes où le gaz ne peut parvenir. Ils furent lancés voici une quarantaine d'années (1872) par Brayton et Hock ; mais ce n'est guère qu'après 1880 que les constructeurs résolurent le problème de l'utilisation directe des pétroles ayant une densité supérieure à 0,81. Il faut alors nommer en tête, Riestman, Capitaine, etc.

Le système à quatre temps fut généralement adopté, et il semble devoir conserver sa suprématie marquée. La gazéification peut s'obtenir de deux manières : soit en injectant le liquide dans une enceinte chauffée par une lampe ou par la décharge des gaz brûlés du moteur ; soit en complétant le vaporisateur par un pulvérisateur : ce dernier procédé est préférable à l'autre, bien qu'il complique l'appareil.

Le but visé est celui-ci : volatiliser entièrement le pétrole, sans laisser aucun détritrus solide dans

le gazéificateur. De plus, tout le liquide doit être transformé en vapeur avant son entrée dans le cylindre ; enfin, le mélange de l'air et du carbure sera rigoureusement dosé et bien homogène, pour que la combustion soit complète. Si celle-ci laissait trop à désirer, non seulement le rendement serait mauvais, mais encore le cylindre s'encrasserait vite et il y aurait à craindre des explosions intempestives avec leurs graves conséquences.

D'autre part, les moteurs eux-mêmes exigeaient une construction spéciale pour l'usage du pétrole lourd. Les hautes compressions, déjà très avantageuses avec les combustibles gazeux, produisaient une meilleure carburation de l'air, mais elles provoquaient des allumages prématurés, avec coups durs qui déréglaient le fonctionnement ; aussi fallut-il en limiter l'usage. Enfin, ces considérations et d'autres secondaires forcèrent les inventeurs et constructeurs à perfectionner progressivement leurs appareils.

En particulier, le rôle du régulateur devient ici plus complexe qu'avec les moteurs à gaz ; car, non seulement il lui faut régler le nombre et la puissance des impulsions motrices en rapport du travail prévu, mais il doit encore mesurer à chaque admission le carbure nécessaire, tout en évitant son excès dans le cylindre. Et comme l'injection et la pulvérisation de ce liquide exigent ordinairement l'emploi d'une pompe, c'est sur cette intermédiaire qu'agira le régulateur.

Passons à l'admission. Le régime de l'admission du *tout ou rien*, si justifié pour les moteurs à gaz, l'est moins pour ceux à pétrole ; cela ressort des considérations suivantes. La nécessité d'effectuer la vaporisation du carbure en amont de la valve d'admission, exige que le gazéificateur soit fortement chauffé ; à cet effet, on utilise le calorique développé dans la chambre d'explosion, ou celui qu'emportent dans la décharge les gaz brûlés, ou bien on a recours à une flamme extérieure, à moins qu'on n'ait réchauffé l'air avant son entrée au carburateur. Ces moyens sont bons, mais ils entraînent une indiscutable complication des moteurs, et ils deviennent insuffisants dès que la machine ne développe que peu de travail. Dans ce cas, en effet, il se produit de nombreux passages à vide, et il entre dans le gazéificateur et le cylindre un fort volume d'air qui refroidit leurs parois : voilà pourquoi des moteurs à pétrole peuvent se passer de lampes auxiliaires quand ils marchent à pleine charge, mais non quand ils ne fonctionnent qu'à demi-charge. Qu'on règle au contraire le moteur en admettant, à chaque coup, des charges variables, de telle sorte qu'il n'y ait aucun passage à vide, même quand le moteur n'a aucune charge ; dès lors se trouvent supprimées toutes les intermittences qui tendraient à refroidir l'intérieur du cylindre, et la marche du moteur s'en trouve améliorée. La raréfaction qui se produit dans le cylindre, par suite de l'admission de charges

réduites, a encore l'heureux résultat de contribuer à la vaporisation des gouttelettes de pétrole pulvérisé répandues sur les parois métalliques. Le fonctionnement à charges variables suppose expressément, pour bénéficier de tout ce qui précède, que la richesse des charges soit maintenue constante.

La forme des carburateurs varie considérablement, ainsi qu'en témoignent les nombreux types de moteurs en usage. Quoi qu'il en soit, il importe que le pétrole rencontre des surfaces assez étendues et dont la température soit suffisante; celle du rouge cerise doit être considérée comme un maximum qu'il ne faut point dépasser et même qu'il vaut mieux ne pas atteindre.

La pulvérisation du liquide améliorant la gazéification, il faut veiller à ce qu'elle se fasse le mieux possible. Plusieurs inventeurs ont signalé l'avantage qu'il y aurait à injecter de la vapeur d'eau dans le carburateur; on prétend que cette vapeur se dissocie et que son oxygène brûle le carbone qui tend à se déposer dans le gazéificateur, alors que l'hydrogène s'ajoute aux gaz formés. Nous ne pouvons accepter cette théorie, attendu que la température de dissociation de l'eau n'est jamais atteinte dans les vaporisateurs. Toutefois, comme il faut expliquer l'intervention utile de la vapeur d'air, nous sommes disposé à l'attribuer à la formation d'un mélange plus homogène produit par le brassage des gaz, dans lesquels tourbillonne la vapeur d'eau (opinion de M. Witz).

Ajoutons enfin que la plupart des moteurs à pétrole, après quelques petites modifications, peuvent fonctionner à l'alcool. L'eau qui complète l'alcool et la composition même de ce liquide, permettent des compressions plus élevées que pour l'air carburé dans les vapeurs de pétrole; et ces fortes compressions ont permis des améliorations dans le rendement, en sorte que certains moteurs à pétrole ont pu se transformer en excellents moteurs à alcool, soit pur, soit carburé.

Types fondamentaux

Nous citerons quelques-uns des plus célèbres.

Système Brayton. — Il est à balancier en dessous (fig. 88). Le piston P s'articule par sa tige oscillante *t* à l'extrémité gauche du balancier *a b c*, lui-même attelé par une bielle sur la manivelle *m* de l'arbre de couche. Par son extrémité droite, le même balancier commande le piston *p* d'une pompe à air, chargée d'envoyer de l'air comprimé dans une chambre où se pulvérise le pétrole.

Ce moteur est à quatre temps.

Système Priestman. — Cette machine compte parmi les plus anciennes du genre, et M. Witz ajoute qu'elle est une des plus parfaites. Et il donne la description qui suit de l'agencement du pulvérisateur sur le vaporisateur *v* (fig. 89).

Dans l'axe de ce dernier se trouve l'appareil de pulvérisation dont le pétrole se règle par le robinet à orifice triangulaire *r* commandé par le régula-

teur ; ce robinet se prolonge par une valve *e* qui obture plus ou moins le tuyau par lequel est aspiré le complément d'air nécessaire à l'explosion du mélange : cet air pénètre par le côté, à travers un

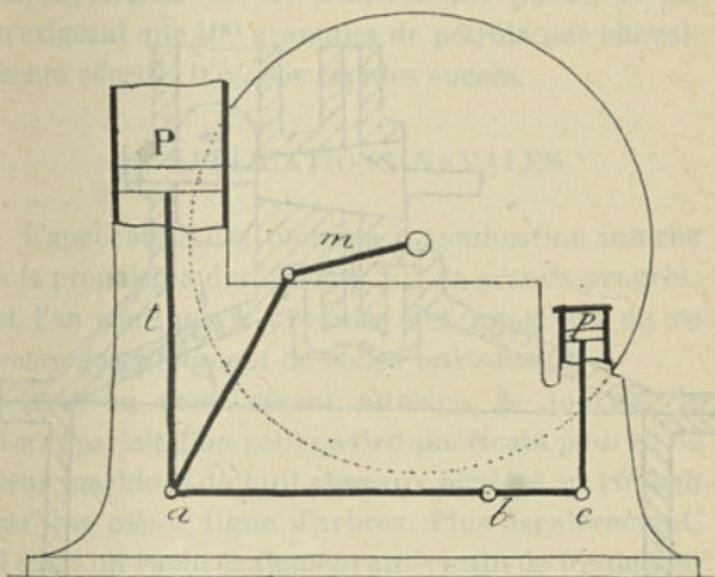


Fig. 88.

diffuseur, et vient intimement se mêler à la vapeur combustible.

Le vaporisateur est formé par un cylindre en fonte à enveloppe ; le mélange vapeur carburée-air comburant traverse ce cylindre dans une direction, tandis que les gaz de décharge suivent l'enveloppe en sens inverse : d'où un réchauffement très méthodique, économique.

Les soupapes s'appliquent, l'une au-dessus de l'autre, sur le fond du cylindre, leurs axes restant parallèles ; celle d'admission est automatique, mais celle de décharge est commandée par l'excentrique de la pompe. Quant à la bougie d'allumage

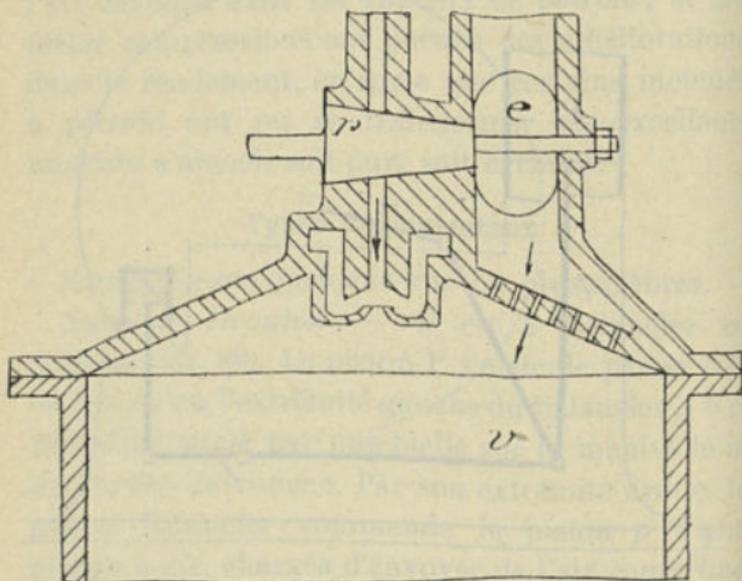


Fig. 89.

électrique, elle se monte sur le côté de la chambre de compression, l'étincelle étant donnée par une bobine d'induction qu'alimentent des piles.

Le vaporisateur étant chauffé par les gaz de la décharge, cette circonstance fit ajouter au moteur une lampe de mise en route, afin de pouvoir faire monter au degré nécessaire la température des

parois du cylindre, avant d'exiger le moindre travail de la machine. Cette lampe se monte contre le socle.

Dès ses débuts, le moteur Priestman démontra sa supériorité en ne s'encrassant point, et en n'exigeant que 400 grammes de pétrole par cheval-heure effectif. D'où ses rapides succès.

II. APPLICATIONS NAVALES

L'application des moteurs à combustion interne à la propulsion des navires fait de grands progrès, et l'on continue à produire des appareils de ce genre qui atteignent de belles puissances.

Dans un assez récent numéro, le journal le *Yacht* parlait d'un petit navire américain pourvu de deux machines de huit chevaux attelées en tandem sur une même ligne d'arbres. Plus dernièrement, il citait un yacht également américain de trente tonneaux, le *Lady-Francis*, qui est muni de deux hélices actionnées chacune par une machine à gazoline de trente chevaux. Ce navire, destiné à la navigation côtière, pourra avec cette puissance, atteindre une vitesse supérieure à dix nœuds. Le réservoir de gazoline est, paraît-il, suffisant pour permettre de franchir 1 000 milles.

Les machines sont à quatre cylindres. La mise en marche s'opère au moyen d'une charge de poudre agissant dans un réservoir de cylindre. L'échappement des gaz brûlés se fait au-dessous de la flottai-

son, pour éviter les désagréments de l'emploi du pétrole. Chaque machine est munie d'une petite pompe de compression qui envoie de l'air à une pression de 3 à 4 kilogr. par centimètre carré dans un réservoir spécial, cet air comprimé servant pour la sirène et le sifflet manœuvrés de la chambre du pilote. Puis, des transmetteurs d'ordres du modèle à cran, convenablement établis, permettent d'envoyer les ordres à la machine, de la chambre du pilote et de la plate-forme du gouvernail. Il y a, de plus, des porte-voix, téléphones et sonneries d'appel, dont l'énergie électrique est fournie par une petite machine à gazoline actionnant une dynamo placée dans la chambre des machines. Cette énergie peut être employée directement par les lampes et appareils, ou provisoirement emmagasinée par des accumulateurs.

Les hélices sont en bronze à quatre ailes de 0^m86 de diamètre. Leurs arbres en contact avec l'eau de mer sont en acier recouvert d'une chemise en bronze pour prévenir les effets galvaniques. Il faut, toutefois, que cette installation soit faite avec beaucoup de soins ; car, si une portion de l'arbre venait en contact avec l'eau de mer, l'action galvanique qu'elle subirait s'aggraverait d'autant plus que sa surface serait plus réduite par rapport à l'ensemble des parties en bronze (hélices et chemise). Une disposition mal comprise de chemise peut donc provoquer des actions localisées dont l'effet deviendrait plus désastreux que celui de

l'action générale qui se produirait sur un arbre non chemisé.

D'autre part, si paradoxal que cela puisse paraître à première vue, la présence de la chemise tend à affaiblir la résistance de l'arbre, tout au moins aux effets de torsion. Ce cas particulier se présente pour toutes les pièces qui ont à subir des chocs et dont la fatigue n'est pas la même aux diverses sections transversales. Lors d'un choc, les sections réduites doivent absorber à elles seules la majeure partie de l'énergie du choc ; elles ont par suite à subir une fatigue maximum plus grande que toutes les sections concourant dans la même mesure à amortir la force vive du choc ; et la rupture tend à se produire plus vite. Il serait donc intéressant de rechercher l'emploi de métaux spéciaux peu oxydables, et que l'on pourrait se dispenser de chemiser.

Le *Lady-Francis* est armé de deux embarcations de 4^m 25, dont l'une est mue également par un moteur à gazoline de 1 cheval. — Le moteur américain Dopp ne consommerait, paraît-il, que 01. 250 au maximum de pétrole par cheval-heure (le moteur à pétrole lourd Diesel a une consommation analogue). Ajoutons enfin qu'on tend à construire des moteurs marchant par petites explosions successives, constituant en somme une sorte de combustion qui ne produit pas le bruit désagréable de choc des autres moteurs (d'après le *Yacht*).

TROISIÈME PARTIE

MOTEURS DIVERS

CHAPITRE XV

Moteurs à alcool

SOMMAIRE. — I. Alcools. — II. Moteurs

I. ALCOOLS

A quelque chose, malheur est toujours bon : je ne citerai comme nouvelle preuve que la récente crise qui, en sévissant sur la distillerie, obligea les producteurs à chercher d'autres débouchés à leurs excédents d'alcool ; et l'application aux nouveaux moteurs était dès lors tout indiquée, un peu, il est vrai, au détriment des régions pétrolifères qui sont loin de France.

Chez nous, c'est M. Ringelmann, le célèbre ingénieur agronome, qui, dès 1893, à la Société d'agriculture de Meaux, commença les premières recherches sur cette importante question ; il compara notamment les résultats obtenus, d'une part avec la gazoline, d'autre part avec l'alcool dénaturé. L'alcool est extrait en France de la betterave, tandis qu'en Allemagne il vient de la pomme de terre, d'où son prix plus stable.

On a donné le qualificatif de *pur* à l'alcool qui n'est additionné que du dénaturant légal; on le prend à 90°. Pour obtenir l'alcool *carburé*, on dissout dans le précédent de 20 à 50 0/0 de benzine houillère, ce qui donne cet alcool carburé à 80 ou 50 0/0. Ainsi carburé à 50 0/0, l'alcool a une densité de 0,840, au lieu de 0,832 lorsqu'il est pur (comparaison à 15°).

Les alcools Leprêtre, qui sont des plus estimés se composent de, par kilogramme :

	Alcool dénaturé pur	Alcool dénaturé carburé à 50 0/0
Carbone.	0,4372	0,6718
Oxygène.	0,3029	0,1502
Eau.	0,1408	0,0698
Hydrogène.	<u>0,1112</u>	<u>0,1119</u>
Totaux	0,9921	1,0037

Comme consommation dans les moteurs, on observe un rapport de 0,7; c'est-à-dire qu'il faut 10 litres d'alcool pur alors qu'il suffit de 7 litres d'alcool carburé à 50 0/0.

Après de nombreuses expériences calorimétriques sur les alcools Leprêtre, M. Witz trouva les moyennes suivantes applicables aux calculs de rendements :

	Pouvoirs	
	supérieurs	inférieurs
Alcool pur marquant 93°.	5.820	5.124
Alcool carburé à 80 0/0 d'alcool.	6.451	5.767
Alcool carburé à 50 0/0 d'alcool.	7.869	7.215

Ces mêmes expériences montrèrent que le rendement thermique avec l'alcool à 50 est meilleur qu'avec l'alcool pur. Mais, qu'il soit pur ou dénaturé, l'alcool donne aujourd'hui des résultats tels qu'on ne peut qu'en encourager la diffusion, pour le plus grand bien des industriels qui l'emploieront et surtout des agriculteurs français.

II. MOTEURS

Nous avons déjà dit que la plupart des moteurs à pétrole pouvaient, sans de grandes modifications, utiliser l'alcool. Le premier moteur essayé avec ce dernier fluide ne fonctionna d'abord que difficilement et après nombreux tâtonnements. Il donna lieu aux observations suivantes :

	Consommation par cheval-heure effectif	
	Gazoline	Alcool
A vide.	1.040 grammes	2.267 grammes
A demi-charge. . . .	950 —	1.767 —
A pleine charge. . .	892 —	1.396 —

Ces résultats comparatifs montraient qu'il fallait environ une fois et demie à deux fois plus d'alcool en poids que de gazoline pour un même travail.

Pour le deuxième moteur, M. Ringelmann chauffa le carburateur à 45° pour obtenir la meilleure marche, résultat obtenu en utilisant la chaleur des gaz de décharge; mais, pour l'alcool, il fallait d'abord recourir à une source de calorique

extérieure, sans laquelle la mise en route n'eût pas été possible. Ce moteur consomma bien moins que le précédent :

	Consommation par cheval-heure effectif	
	Gazoline	Alcool
A vide.	328 grammes	771 grammes
A demi-charge. . . .	619 —	1.097 —
A pleine charge . . .	407 —	763 —

Comme résultat relatif, on retrouvait le précédent : environ 1,9 fois plus d'alcool en poids que de gazoline.

Depuis cette époque de tâtonnements, les consommations et les prix ont considérablement baissé, doubles avantages qui seuls pouvaient permettre la diffusion des nouveaux appareils. La dénaturation légale, qui empêche toute fraude et toute consommation de bouche, consiste en France dans l'addition par hectolitre d'alcool à 90°, de 10 litres de méthylène et de 0 l. 500 de benzine-régie.

Pour que les gaz soient entièrement brûlés, il faut environ 10 mètres cubes d'air par kilogramme d'alcool dénaturé pur. L'alcool carburé à 50 0/0 exige pratiquement 12 mètres cubes pour la même fin.

D'autre part, le mélange doit arriver suffisamment chaud au cylindre, pour éviter toute condensation d'alcool ou d'eau dans la tuyauterie qui réunit le carburateur au cylindre. Une température de 100° étant reconnue suffisante, il ne faut point la dépasser, par crainte d'autres inconvénients.

Enfin, le brassage énergique des gaz et des vapeurs assure seul l'homogénéité du mélange tonnant : d'où la nécessité de diffuser dans sa masse l'air pur ajouté à l'air carburé, dans la traversée de la soupape d'admission.

CHAPITRE XVI

Moteurs à eau

—

SOMMAIRE. — I. Écoulement des liquides.
II. Roues hydrauliques, — III. Turbines hydrauliques.

I. ÉCOULEMENT DES LIQUIDES

Il peut être nécessaire à un mécanicien de connaître, avec les éléments des machines hydrauliques, ce qui se passe dans les conduites et autres appareils d'eau motrice. D'où l'utilité des lignes qui suivent.

Orifices en mince paroi

On donne ce nom générique à tout orifice dont l'épaisseur des bords est inférieure à la moitié de sa plus petite dimension ; et alors, le liquide s'en écoule comme si la paroi était une aire géométrique sans épaisseur (fig. 90). Les filets occupent d'abord toute la section MN , puis ils convergent à une faible distance, vers mn où les vitesses sont égales, pour continuer ensuite sensiblement parallèles.

Une loi précise régit un tel écoulement, quand on connaît la distance h qui mesure la hauteur du niveau par rapport au centre de la section contractée (fig. 91). Cette vitesse s'exprime ainsi :

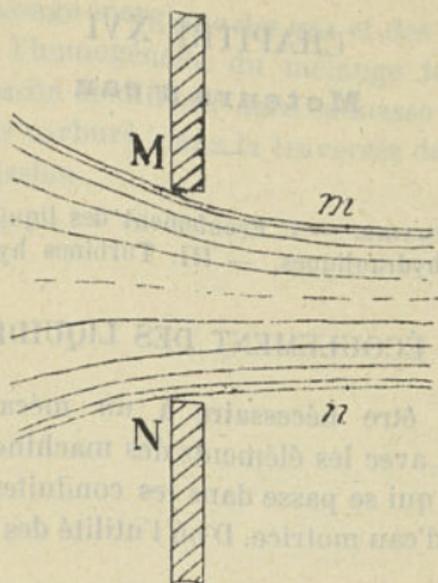


Fig. 90.

On donne ce nom générique à tout orifice dont l'épaisseur des parois est la moitié de sa plus petite dimension; et alors le liquide s'en écoule avec la même vitesse que si le liquide tombait verticalement et librement du niveau supérieur.

Cette formule est encore applicable, sous une légère variante, quand l'orifice en mince paroi est noyé (fig. 92). Et l'on obtient :

$$v' = \sqrt{2gh} = 4,4\sqrt{h'}$$

Même résultat enfin, quand l'orifice en mince

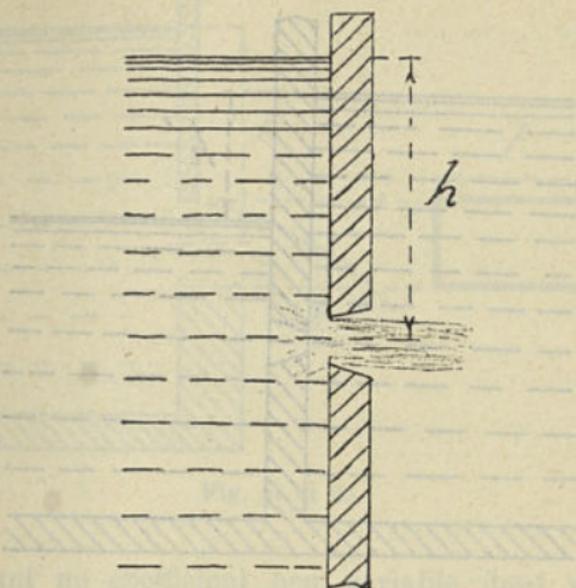


Fig. 91.

paroi, percé dans le bas, est prolongé par un coursier (fig. 93) :

$$v = 4,4 \sqrt{h}.$$

Orifices à parois épaisses

Vannes d'usines. — Parmi les applications de ce genre, il nous faut d'abord citer les vannes d'usines (fig. 94-95). Les expériences de Lesbros portèrent notamment sur un orifice de largeur l et de hauteur e , la distance du niveau au centre de l'orifice égalant h . Il trouva comme débit :

$$Q = m \times l \times e \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = 4,4 m \times l \times e \sqrt{h};$$

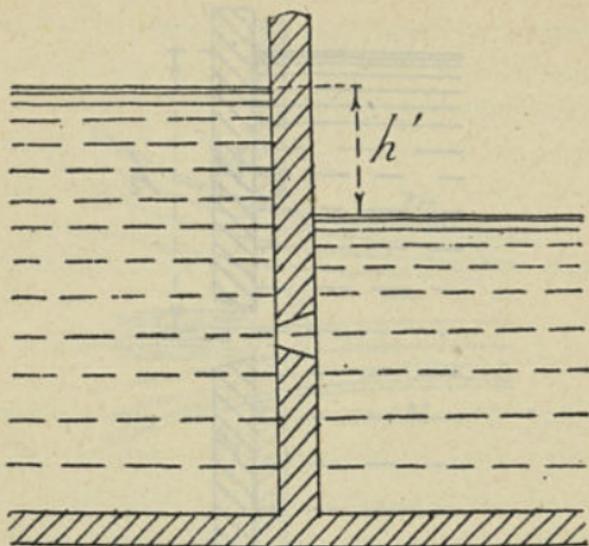


Fig. 92.

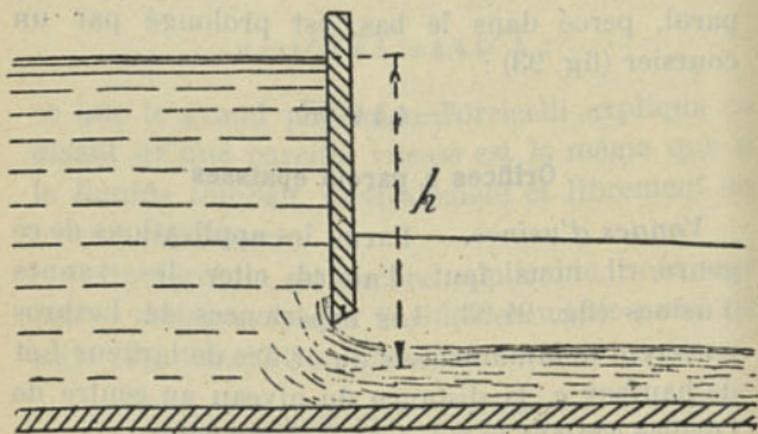


Fig. 93.

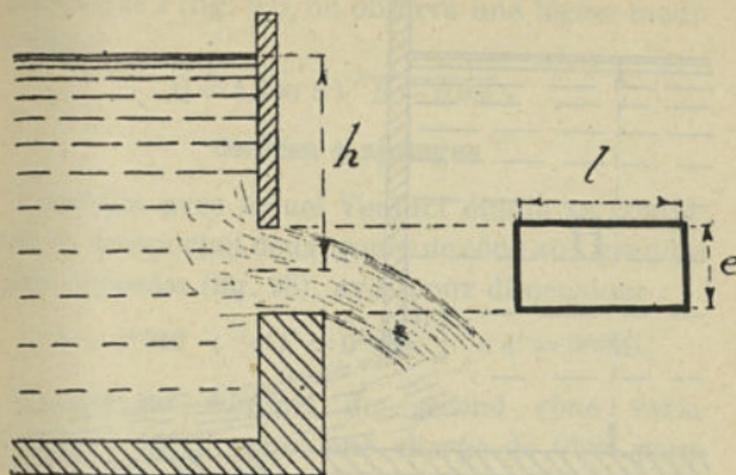


Fig. 94 et 95.

m étant un coefficient peu variable dont voici quelques valeurs solidaires :

$m = 0,70$	pour $e = 0^m 03$ et $h = 0^m 50$	
$m = 0,69$	$e = 0^m 05$	$h = 1^m$
$m = 0,67$	$e = 0^m 20$	$h = 1^m 50$
$m = 0,62$	$e = 0^m 40$	$h = 2^m$
$m = 0,62$	$e = 0^m 40$	$h = 3^m$

Vannes à coursiers. — Lorsqu'une vanne est suivie d'un coursier (fig. 96), on retrouve l'avant-dernier cas, et, en désignant par S la section, on trouve au débit :

$$Q = 4,4 m S \sqrt{H - 0,8 e} .$$

Si la vanne porte à l'intérieur un tasseau demi-

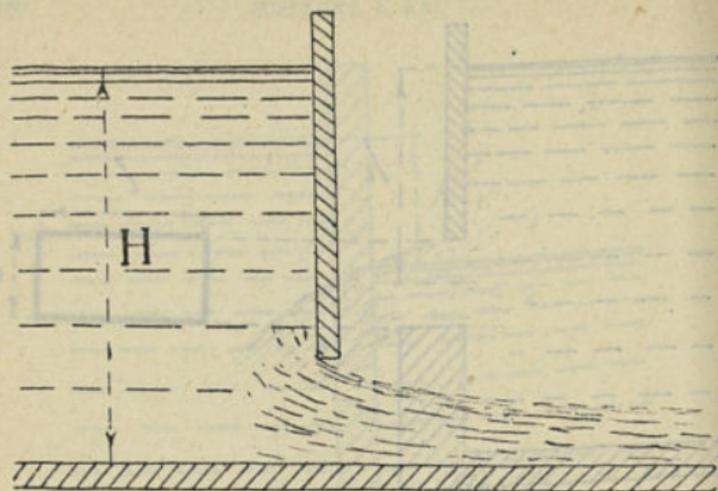


Fig. 96.

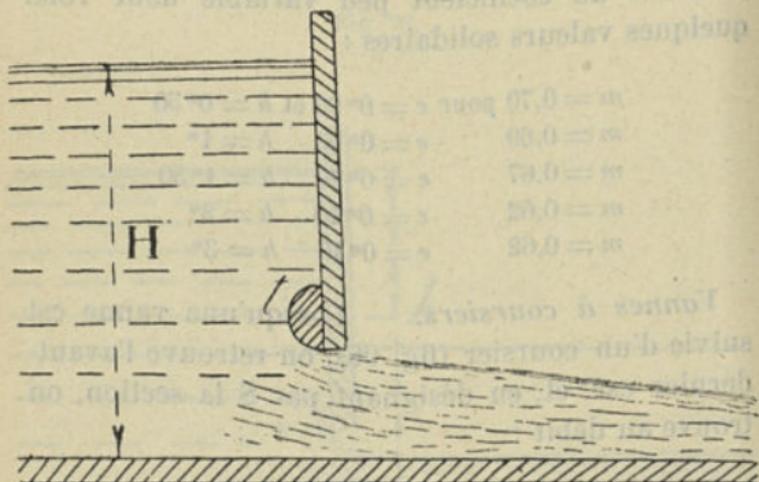


Fig. 97.

cylindrique l (fig. 97), on observe une légère modification :

$$Q = 4,4 m S \sqrt{H - 0,9 e}.$$

Orifices à ajutages

L'ajutage avec lequel Venturi étudia sa combinaison, comportait deux troncs de cône aux grandes bases opposées (fig. 98), avec pour dimensions :

$$ab = 0^m 040 ; a'b' = 0^m 035 ; aa' = 0^m 025.$$

L'angle au sommet du second cône varia de $3^{\circ}30'$ à $14^{\circ}15'$, avec une charge de $0^m 88$ pour

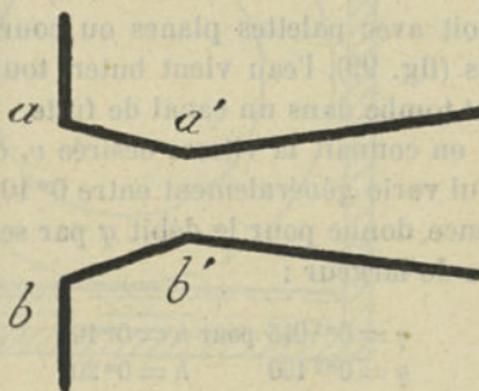


Fig. 98.

l'écoulement. Comme règle à noter pour la dépense maximum, l'ajutage doit présenter une longueur égale à neuf fois le diamètre de la petite base, avec un évasement de $5^{\circ}6'$. Il fournit alors un débit deux fois et demie plus grand qu'un même orifice en mince paroi.

II. ROUES HYDRAULIQUES

Puissance de chute. — Notons d'abord l'utile formule qui donne théoriquement, en chevaux-vapeur C , la puissance d'une chute d'eau de hauteur h et de débit Q en mètres cubes par seconde :

$$C = \frac{1\,000\ Q\ h}{75} = 13,33\ Q\ h .$$

Roues en dessus

Ces roues sont à axe horizontal, soit avec augets, soit avec palettes planes ou courbes. Sur les augets (fig. 99), l'eau vient buter, tourne puis chavire et tombe dans un canal de fuite.

Quand on connaît la vitesse désirée v , on détermine h qui varie généralement entre $0^m 10$ et $0^m 20$. L'expérience donne pour le débit q par seconde et par mètre de largeur :

$$q = 0^m 3\ 045 \text{ pour } h = 0^m 10$$

$$q = 0^m 3\ 150 \quad h = 0^m 20$$

Le débit total est alors donné par (avec une largeur l) :

$$Q = q\ l .$$

Ou réciproquement, pour fixer la largeur, q et Q étant connus :

$$l = \frac{Q}{q} .$$

Ce genre de roues est économique pour des chutes de quelques mètres, et l'on peut sembla-

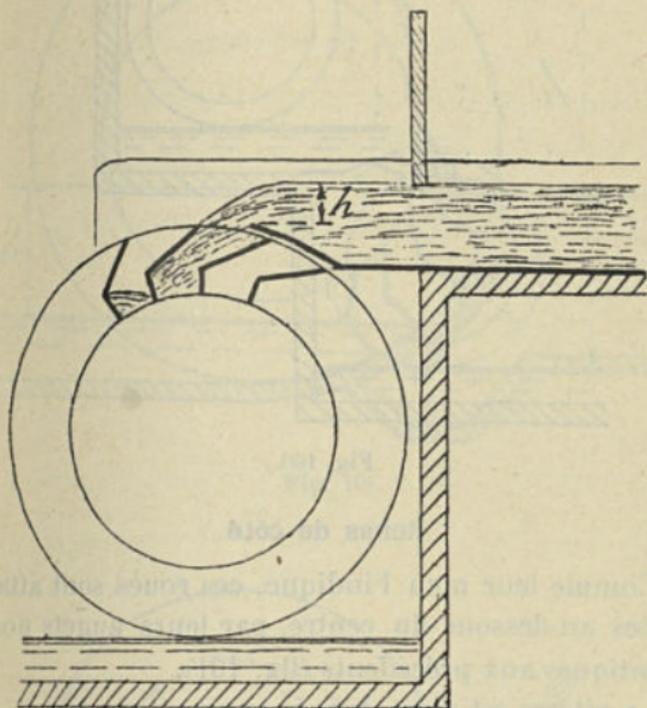


Fig. 99.

blement utiliser les roues étagées (fig. 100) quand les niveaux d'amont et d'aval sont peu variables, et surtout lorsqu'on a besoin d'un travail régulier ; malgré la faible vitesse réalisée, on peut compter sur un rendement de 75 à 80 0/0.

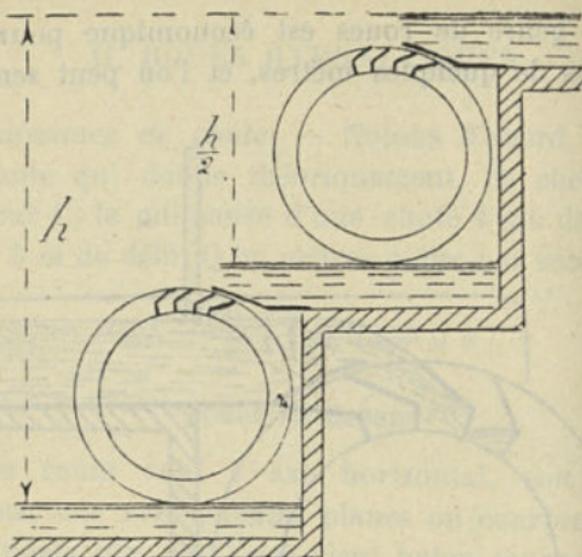


Fig. 100.

Roues de côté

Comme leur nom l'indique, ces roues sont attachées au-dessous du centre, par leurs augets non identiques aux précédents (fig. 101).

La vitesse est alors donnée par :

$$v = \sqrt{2g \times \frac{h}{3}} = \sqrt{2 \times 9,8 \times \frac{h}{3}};$$

h , variant peu entre 0^m 20 et 0^m 30.

De son côté, le débit q par seconde et mètre de largeur est donné par :

$$q = m h \sqrt{2g h};$$

avec m généralement égal à 0^m 40.

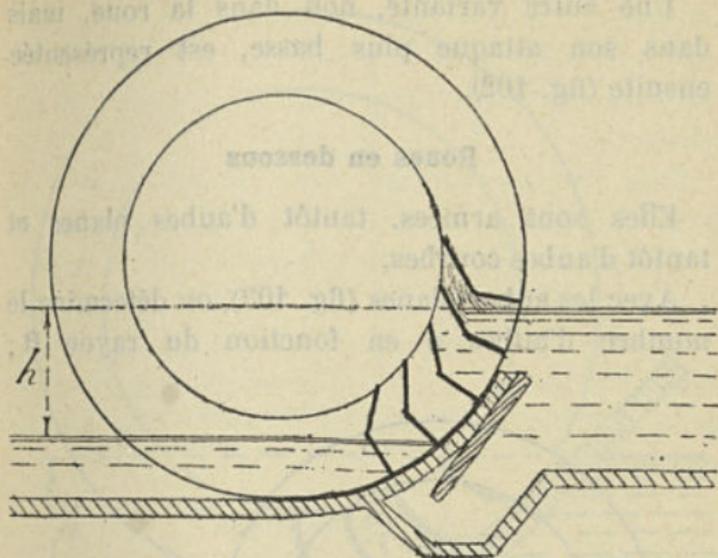


Fig. 101.

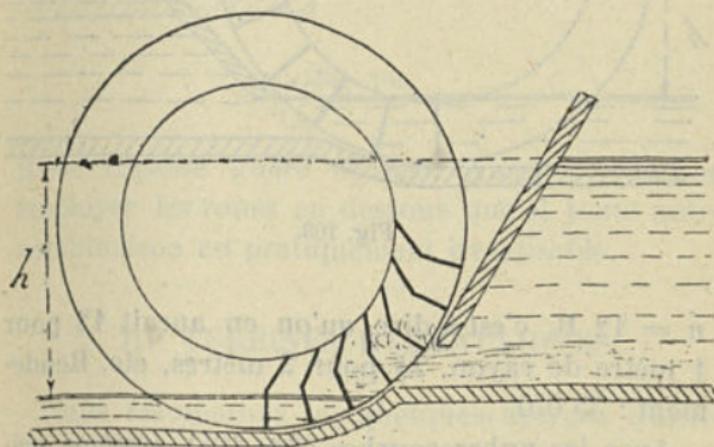


Fig. 102.

Une autre variante, non dans la roue, mais dans son attaque plus basse, est représentée ensuite (fig. 102).

Roues en dessous

Elles sont armées, tantôt d'aubes planes et tantôt d'aubes courbes.

Avec les aubes planes (fig. 103), on détermine le nombre d'aubes n en fonction du rayon R ;

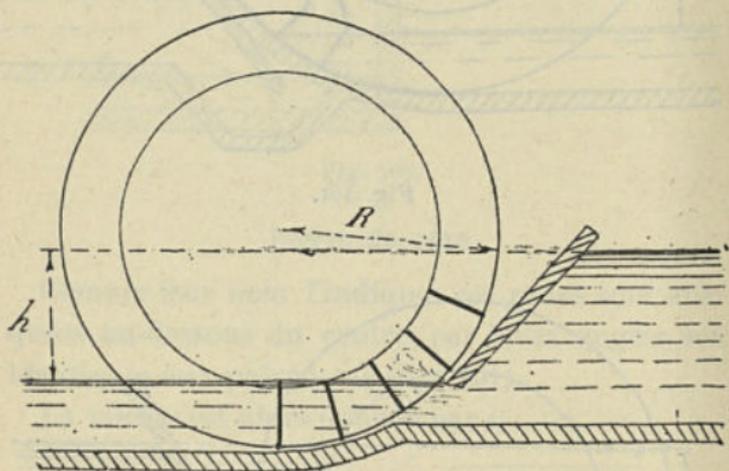


Fig. 103.

$n = 12 R$, c'est-à-dire qu'on en aurait 12 pour 1 mètre de rayon, 24 pour 2 mètres, etc. Rendement : 35 0/0.

Avec les aubes courbes (fig. 104), système primitif de Poncelet, le rendement est meilleur, mais

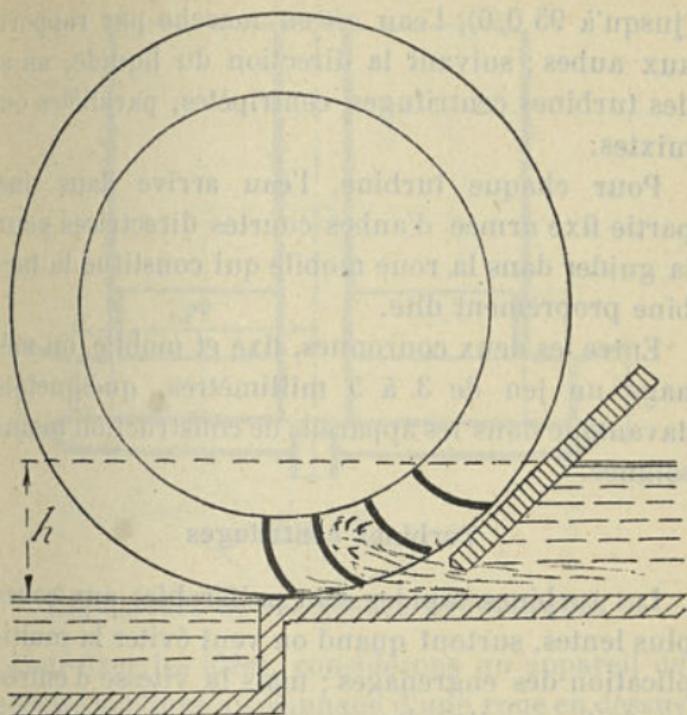


Fig. 104.

il ne dépasse guère 65 0/0. Aussi ne doit-on employer les roues en dessous que si toute autre combinaison est pratiquement irréalisable.

III. TURBINES HYDRAULIQUES

Nous résumerons ici quelques aperçus d'après les ouvrages appropriés de MM. Vigreux et Milandre. Dans ces moteurs d'un rendement élevé

(jusqu'à 95 0/0), l'eau est en marche par rapport aux aubes ; suivant la direction du liquide, on a des turbines centrifuges, centripètes, parallèles ou mixtes.

Pour chaque turbine, l'eau arrive dans une partie fixe armée d'aubes courtes directrices pour la guider dans la roue mobile qui constitue la turbine proprement dite.

Entre les deux couronnes, fixe et mobile, on ménage un jeu de 3 à 5 millimètres, quelquefois davantage dans les appareils de construction moins soignée.

Turbines centrifuges

Les turbines rapides sont préférables aux roues plus lentes, surtout quand on veut éviter la multiplication des engrenages ; mais la vitesse d'entrée ne doit pas atteindre un mètre par seconde. En croquis démonstratif, nous citerons la turbine centrifuge (fig. 105) qu'on monte entièrement noyée. Quand on connaît le débit Q en mètres cubes par seconde, et la vitesse moyenne v , le rayon intérieur de la couronne mobile est donné par :

$$r = \sqrt{\frac{Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{Q}{3,14 \times v}}$$

On fait ensuite :

$$R = 1,25 \text{ à } 1,58 \times r$$

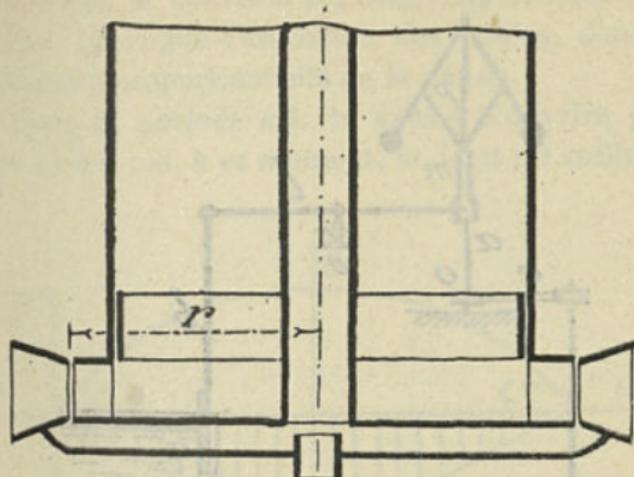


Fig. 105

Régulateurs de récepteurs hydrauliques

Pour fixer les idées, considérons un appareil de ce genre appliqué au vannage d'une roue en dessus (fig. 106). Ce régulateur est constitué par un pendule conique p , ou tachymètre centrifuge, tournant sur l'axe vertical a , qu'actionne la courroie c , transmettant à la poulie o le mouvement de rotation qui lui vient du récepteur r . Le manchon mobile m du pendule agit par l'intermédiaire du levier l (articulé sur son support s) et de la barre b sur la vanne v . Donc, si la vitesse du récepteur augmente, les boules du pendule s'élèvent et avec elles le manchon : la vanne s'abaisse et ferme d'autant ; elle monte et ouvre davantage, dans le cas contraire.

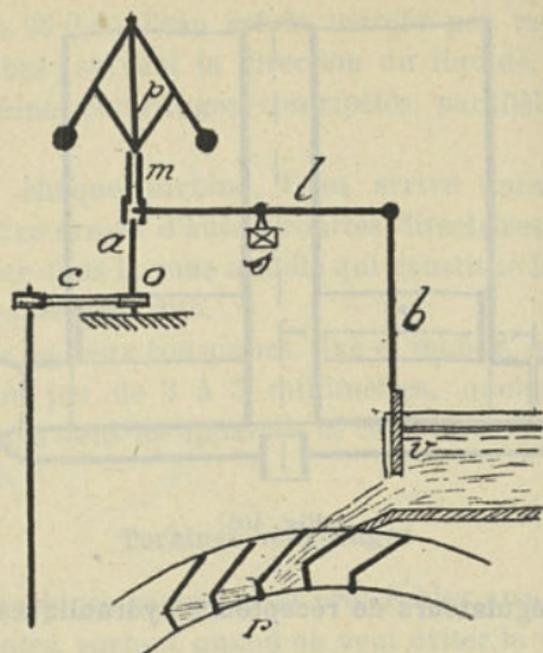


Fig. 106.

Les avantages d'un tel appareil sont graphiquement explicables, en fonction de la vitesse et du mouvement de la vanne (fig. 107). Considérons les axes rectangulaires xx' et yy' , le premier pour les temps et le second pour les vitesses. Soit vv' la parallèle à xx' qui indique la vitesse de régime à réaliser, l'ordonnée aa' étant l'ouverture de la vanne de réglage qui correspond à cette vitesse de régime. Si, en a , il se produit dans l'usine (débrayage d'une machine, etc.) une réduction du travail normal, la vitesse de la roue s'élève aus-

sitôt selon la courbe $a'b'$; cette augmentation de vitesse provoque l'ascension des boules, donc la fermeture proportionnelle de la vanne.

Après la période ab , la vanne n'ouvrira plus que de bb'' ; si, à ce moment, le débit est suffisam-

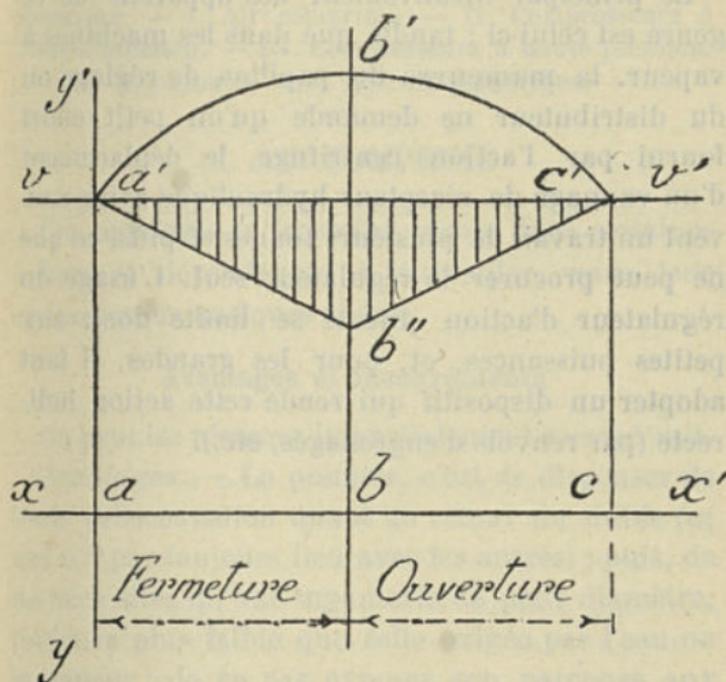


Fig. 107.

ment diminué pour que cesse la prépondérance du travail moteur qui occasionne l'augmentation de vitesse, cette dernière va redevenir normale, en décroissant selon $b'c'$. Mais cette décroissance ne peut s'accroître que si le travail résistant acquiert

à son tour la prépondérance nécessaire ; et la chute se poursuivrait jusqu'au-dessous de vv' , si cette prépondérance persistait. En d'autres termes, de b en c comme de a en b , le régulateur réagit pour réimposer l'équilibre rompu.

Le principal inconvénient des appareils de ce genre est celui-ci : tandis que dans les machines à vapeur, la manœuvre du papillon de réglage ou du distributeur ne demande qu'un petit effort fourni par l'action centrifuge, le déplacement d'un vannage de récepteur hydraulique exige souvent un travail de plusieurs tonnes et plus, ce que ne peut procurer le régulateur seul. L'usage du régulateur d'action directe se limite donc aux petites puissances, et, pour les grandes, il faut adopter un dispositif qui rende cette action indirecte (par renvois d'engrenages, etc.).

CHAPITRE XVII

Moteurs à air

SOMMAIRE. — I. Air comprimé. — II. Compresseurs à basse pression. — III. Compresseurs à haute pression. — IV. Tuyauterie. — V. Air atmosphérique.

I. AIR COMPRIMÉ

Ces appareils se trouvant encore dans certaines usines et dépendances à surveiller, nous leur consacrerons quelques pages.

Avantages et inconvénients

On peut les résumer impartialement comme suit.

Avantages. — Le premier, c'est de dispenser de toute préoccupation quant au retour du fluide (ce qui n'a pas toujours lieu avec les autres) ; puis, de ne nécessiter qu'une tuyauterie de petit diamètre, toujours plus faible que celle exigée par l'eau ou la vapeur ; de ne pas exposer son parcours aux inconvénients provoqués par la chaleur des tuyaux de vapeur, les suintements des conduites d'eau, le ballonnement des câbles télédynamiques ; enfin d'être indépendant des différences de niveaux, des coudes et autres obstacles très gênants avec les autres modes de transmission.

D'autre part — et cet avantage devient capital

dans nombre d'applications spéciales — l'air comprimé est l'unique agent de transmission qui puisse être isolé de la force motrice qu'il doit transmettre, facile à accumuler par exemple dans un robuste réservoir qu'on peut ouvrir ou fermer à la demande.

Inconvénients. — On lui reproche, par contre, son rendement assez réduit, avec une élévation du prix de premier établissement causée par l'usage d'une machine spéciale à compresser. Mais que l'on compare ces inconvénients (de plus en plus mitigés) aux précédents avantages inaliénables : la conclusion ne sera point douteuse.

II. COMPRESSEURS A BASSE PRESSION

Les spécimens de cette classe sont nombreux, car ils comprennent les ventilateurs d'ateliers et de mines, les machines soufflantes de hauts fourneaux, etc.

A titre d'exemple, nous citerons la machine soufflante d'Ebbw-Vale (Pays de Galles). Cet appareil, dont nous retrouvons les caractéristiques qui suivent dans l'ouvrage approprié de M. Pernolet, est du type à balancier *b* ; son volant *v* tourne entre le cylindre moteur *m* et le cylindre oscillant *o* (fig. 108). Comme détails, nous trouvons ci-après :

Pour l'air :

Pression absolue du vent.	1 atm. 30 environ.
Volume d'air théorique à cette tension.	947 ^{m3} 850

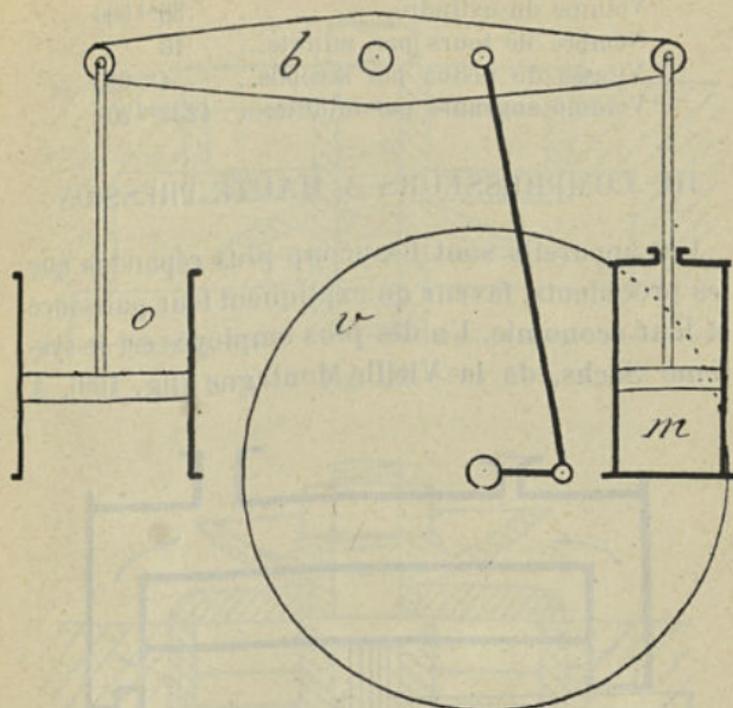


Fig. 108.

Pour la machine motrice :

Diamètre du piston à vapeur	1 ^m 830
Course du piston à vapeur	3 ^m 660
Balancier à bras égaux	11 ^m 000
Diamètre du volant	9 ^m 350
Poids du volant	85 tonnes.

Cylindre soufflant :

Diamètre du piston à vent	3 ^m 660
Superficie du piston	10 ^{m²} 520
Course du piston	3 ^m 660

Conducteur de moteurs. 15

Volume du cylindre..	38 ^{m3} 506
Nombre de tours par minute. .	16
Vitesse du piston par seconde..	1 ^m 940
Volume engendré par minute. .	1232 ^{m3} 208

III. COMPRESSEURS A HAUTE PRESSION

Ces appareils sont beaucoup plus répandus que les précédents, faveur qu'expliquent leur puissance et leur économie. Un des plus employés est le système Sachs, de la Vieille-Montagne (fig. 109). A

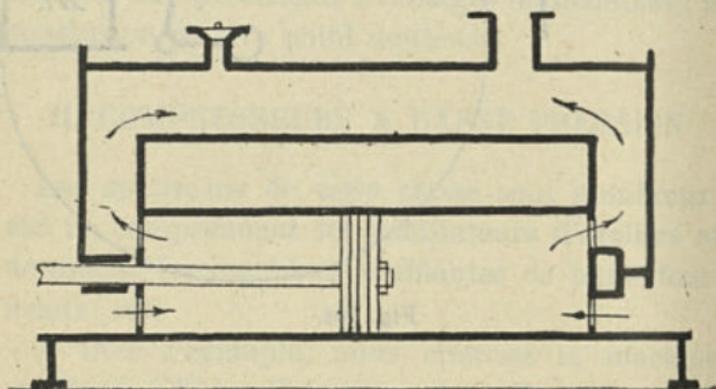


Fig. 109.

double effet, il comporte un cylindre horizontal dans lequel se meut un piston spécial que commande, par renvois appropriés, une roue hydraulique; fonctionnement que notre croquis avec flèches explique sans peine.

Les détails les plus intéressants se retrouvent dans les soupapes qui sont au nombre de six : trois

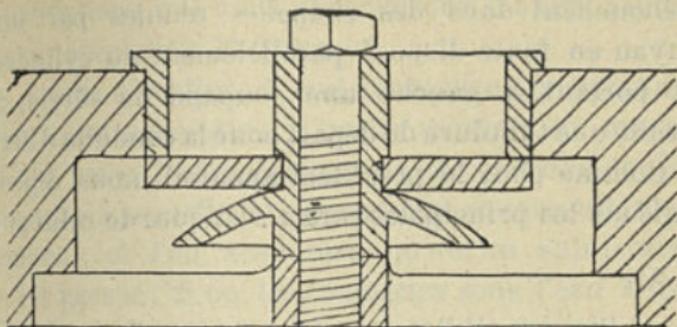


Fig. 110.

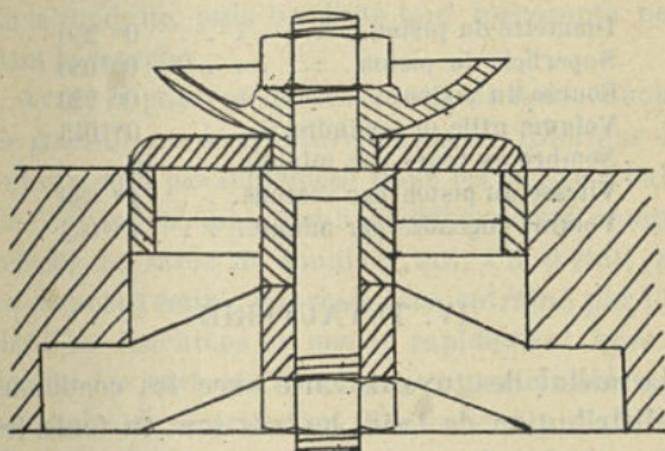


Fig. 111.

pour l'aspiration et trois pour le refoulement; toutes sont constituées avec des disques en cuir, boulonnés par leur axe sur des sièges en laiton. Les soupapes d'aspiration (fig. 110) ouvrent directement à l'air libre; celles de refoulement (fig. 111)

débouchent dans des chapelles réunies par un tuyau en fonte disposé parallèlement au cylindre et portant, à gauche une soupape de sûreté, à droite une tubulure de départ pour la conduite d'air.

Comme pour le précédent appareil, nous reproduisons les principales caractéristiques de celui-ci :

Air :

Pression absolue.	3 atm.
Volume fourni à cette tension	4 ^m 3 355

Compresseur :

Diamètre du piston.	0 ^m 250
Superficie du piston	0 ^m 2 050
Course du piston.	0 ^m 920
Volume utile du cylindre.	0 ^m 3 045
Nombre de tours par minute.	45
Vitesse du piston par seconde.	1 ^m 380
Volume engendré par minute.	4 ^m 3 065

IV. TUYAUTERIE

Le métal des tuyaux varie avec les conditions de distribution de l'air ; les uns sont en fonte, les autres en fer, d'autres encore en cuivre, en plomb, voire même en caoutchouc. Mais ce sont leurs assemblages les plus intéressants pour nous.

Règle fondamentale : les joints doivent être faciles à faire ou à refaire, pour qu'on ne soit pas contraint de démonter toute une canalisation au lieu d'un simple fragment. Il y a aussi certaines précautions à prendre avec les longues canalisations, recom-

mandations que nous rappellerons d'après l'ingénieur spécialiste M. Pernolet.

A leur réception, il faut soumettre les tuyaux à deux sortes d'essais : 1° on les essayera au moyen d'une presse hydraulique, sous une pression double de celle à laquelle ils doivent être soumis ultérieurement, et l'on s'assurera qu'aucun suintement n'est accusé ; 2° on les soumettra sous l'eau à une pression d'air de 8 à 10 atmosphères, pour constater qu'imperméables à l'eau, ils le sont également à l'air. On est ainsi convaincu de l'étanchéité de la conduite, puis on évite tout mécompte pendant la marche.

Avant la pose, on devra enduire de deux couches de goudron ou de peinture à l'huile l'intérieur des tuyaux, non pas seulement pour les mettre à l'abri de l'oxydation, mais pour les débarrasser complètement du sable de moulage qui, s'il n'était pas entièrement retiré, pourrait être entraîné par l'air dans les machines et mettre rapidement hors de service les surfaces frottantes et particulièrement les tiroirs de distribution. Il conviendra d'ailleurs d'appeler l'attention du fondeur sur cet inconvénient pour que, de son côté, il s'en préoccupe et le prévienne.

Enfin, lors de l'installation de la conduite, on devra penser :

1° A se ménager un accès facile autour des joints, de manière à pouvoir les surveiller et refaire au besoin ;

2° A disposer les choses de façon à pouvoir toujours remplacer un quelconque des tuyaux sans être obligé de soulever ou déplacer toute la conduite (à ce point de vue, il faut préférer les joints à collets plats à l'exclusion de ceux à emboîtement, et placer de distance en distance des boîtes à dilatation ou des tuyaux à double courbure en cuivre);

3° A établir aux points les plus bas de la conduite des poches à eau avec robinets purgeurs pour faire évacuer les eaux qui, sans cela, s'accumulent et obstruent le passage de l'air;

4° A créer des moyens rapides d'isoler les différentes parties de la conduite, de manière à pouvoir réparer l'une des branches sans être obligé d'arrêter toute la distribution.

Assemblages en fonte

Voici d'abord un système français (fig. 112). Les collets très larges ont une portée bien dressée avec gorge à emboîtement pour recevoir une cordelette en caoutchouc de 15 millimètres de diamètre qu'on serre avec huit boulons équidistants (type Mont-Cenis).

Avec le genre allemand de Saarbrück (fig. 113), on voit en noir un anneau de caoutchouc plat qu'on interpose entre les deux tuyaux dont la saillie de l'un vient épouser la rainure inverse de l'autre.

Le procédé varie davantage dans le Pays de Galles, à Balance-Pit (fig. 114). L'un des tuyaux

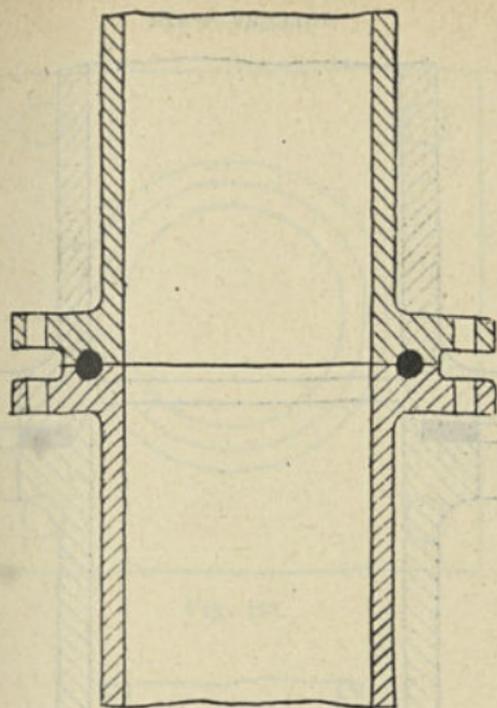


Fig. 112.

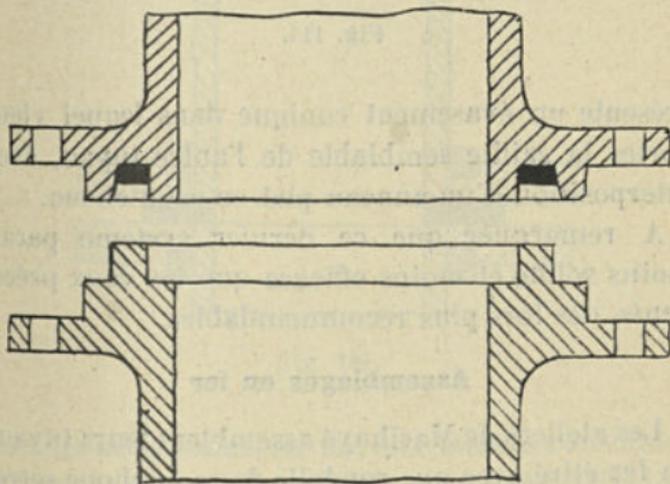


Fig. 113.

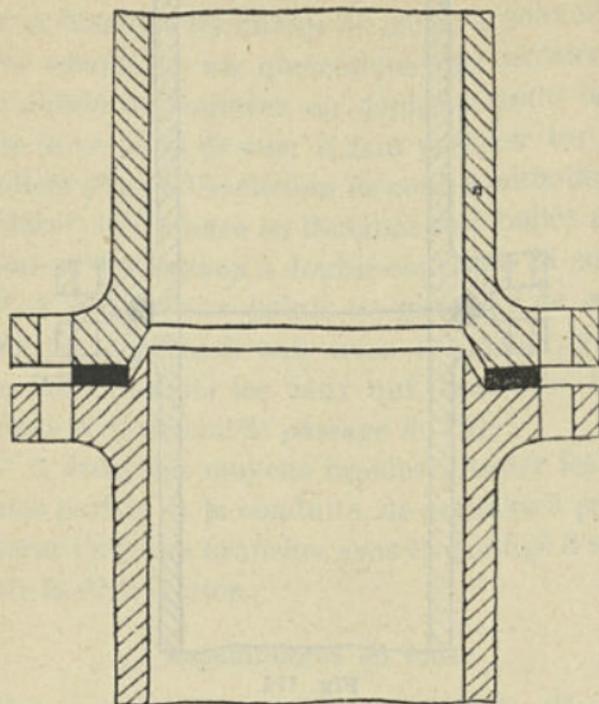


Fig. 114.

présente un évasement conique dans lequel vient porter la saillie semblable de l'autre tuyau, avec interposition d'un anneau plat en caoutchouc.

A remarquer que ce dernier système paraît moins solide et moins efficace que les deux précédents, dès lors plus recommandables.

Assemblages en fer

Les ateliers de Marihaye assemblent leurs tuyaux en fer étiré avec une rondelle de caoutchouc serrée

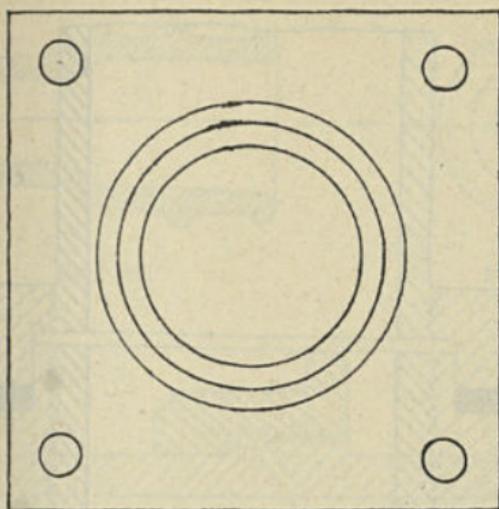


Fig. 115.

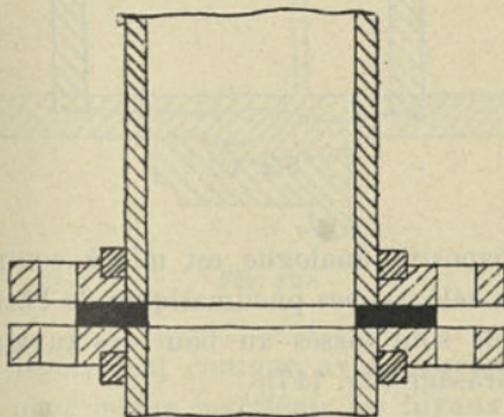


Fig. 116.

entre les deux collets en fer, eux-mêmes consolidés par une bague en cuivre rouge brasée (fig. 115-116).

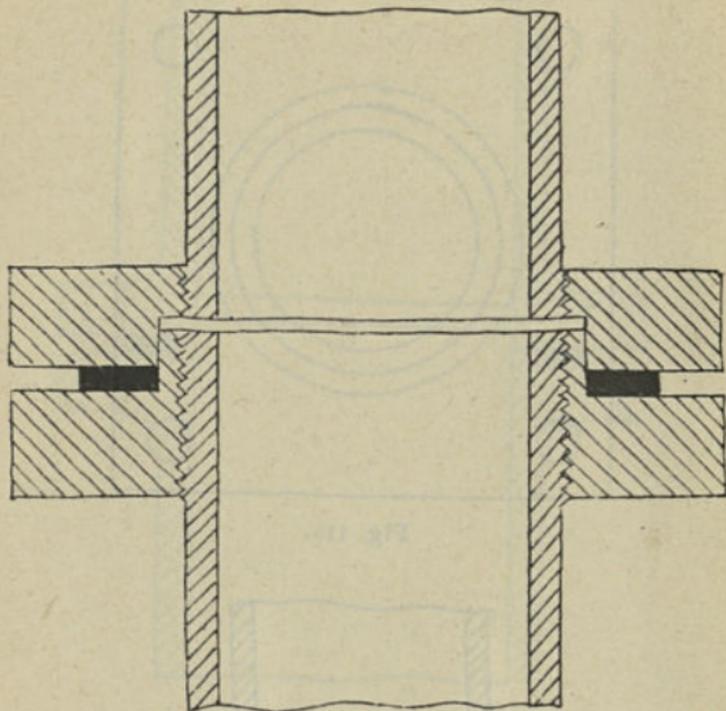


Fig. 117.

Un dispositif analogue est mis à contribution dans les télégraphes pneumatiques de Paris, mais les collets sont vissés au bout des tuyaux, sans aucun brasage (fig. 117).

Assemblages en caoutchouc

Pour réunir deux tuyaux en caoutchouc conduisant de l'air à faible pression, on peut employer le raccord Fayol (fig. 118-119). Il est en caoutchouc

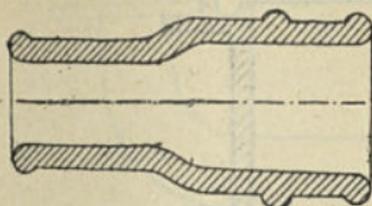


Fig. 118.

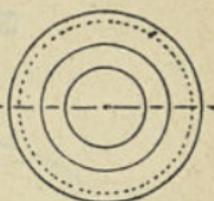


Fig. 119.

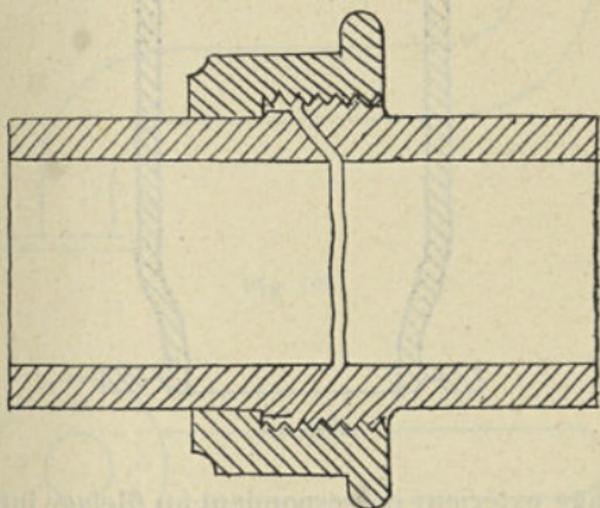


Fig. 120.

durci, légèrement conique avec bourrelets extérieurs pour mieux maintenir les tuyaux emmanchés.

Joints mobiles

Pour les très hautes pressions, les joints mobiles réunissent des tuyaux légèrement renflés avec

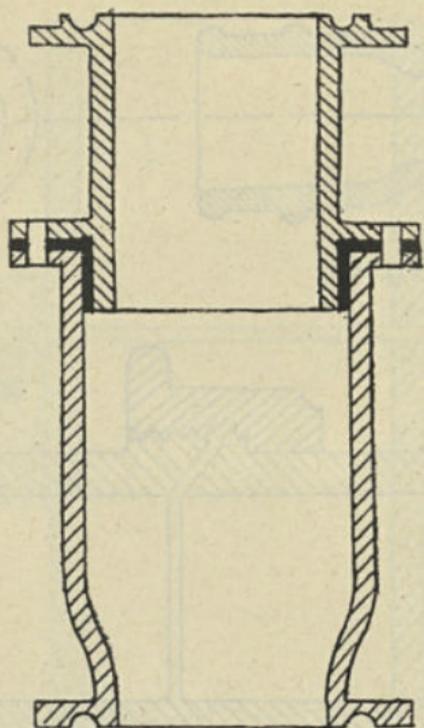


Fig. 121.

filetage extérieur correspondant au filetage interne du manchon, et enfin emboîtement en biseau (fig. 120).

Boîtes de dilatation

Le système dit du Mont-Cenis (fig. 121) comporte un bout de tuyau extérieurement tourné et s'engageant dans la partie élargie d'un autre tuyau court. Une garniture en cuir emboutie et suiffée puis emprisonnée par un anneau métallique, forme un joint fort étanche.

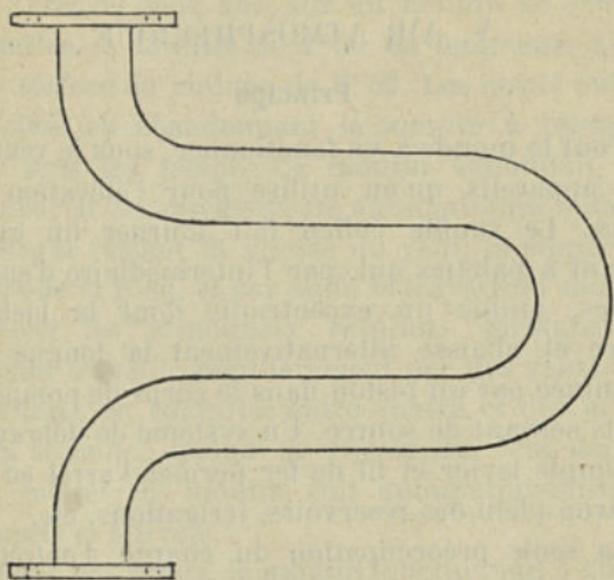


Fig. 122.

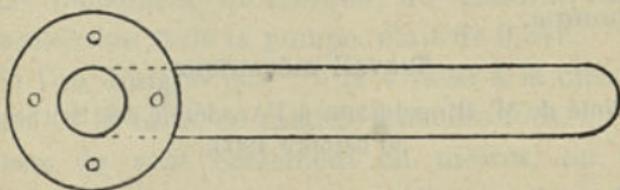


Fig. 123.

Tuyaux à double courbure

Ces tuyaux en cuivre sont très employés dans les puits de mine, où l'on a besoin d'une certaine flexibilité dans les agencements n'offrant du jeu que dans le sens vertical (fig. 122-123).

V. AIR ATMOSPHERIQUE

Principe

Tout le monde a vu fonctionner, sous le vent, de ces appareils qu'on utilise pour l'élévation des eaux. Le souffle éolien fait tourner un grand volant à palettes qui, par l'intermédiaire d'engrenages, anime un excentrique dont la bielle élève et abaisse alternativement la longue tige terminée par un piston dans le corps de pompe du puits servant de source. Un système de débrayage à simple levier et fil de fer permet l'arrêt en cas de trop-plein des réservoirs, irrigations, etc.

La seule préoccupation du chargé d'entretien, consiste à graisser de loin en loin les engrenages supérieurs, tout en combattant les pertes du liquide qui pourrait gicler par le presse-étoupe de la pompe.

Travail mécanique

(Note de M. Ringelmann à l'Académie des Sciences, 30 octobre 1905).

Pour les moulins à vent, à orientation et à réglages automatiques, employés en agriculture pour l'élévation des eaux, il est intéressant de connaître les coefficients qui relient le travail mécanique fourni, en pratique, par la roue du moulin à la vitesse du vent qu'elle reçoit.

Les chiffres suivants proviennent d'expériences effectuées à la station d'essais de machines, pen-

dant près de deux ans, sur un moulin de 3^m60 de diamètre, à 72 ailes de 1^m30 de longueur, ayant une surface de voilure de 9^m39. Les essais ont été effectués en abandonnant le moulin à lui-même par tous les temps. Ce moulin actionnait une pompe ; et des enregistreurs automatiques notaient à chaque instant la vitesse du vent, le nombre de tours de la roue, et par suite le travail du moulin.

Voici les principaux résultats constatés. Le moulin travaille régulièrement par des vents dont la vitesse est comprise entre quatre et dix mètres à la seconde ; quand la vitesse du vent dépasse dix mètres, le moulin fuit automatiquement la tempête et s'arrête.

Dans nos essais, le moulin fonctionnait à charge constante, et un tour de roue nécessitait un travail mécanique de 43 kilogrammètres.

Le rendement mécanique du moulin, de la transmission et de la pompe, était de 0,341.

Si l'on désigne par : v la vitesse à la circonférence de la roue, en mètres par secondes, et V la vitesse du vent également en mètres, on a la relation :

$$v = n V ; \quad (1)$$

(n variant entre 0,75 et 0,88).

D'autre part, si T est le travail mécanique en kilogrammètres que peut fournir à la seconde un vent animé d'une vitesse V , toujours exprimée en mètres par seconde, agissant sur une surface A

(projection des ailes) donnée en mètres carrés (K étant un coefficient variable), on obtient :

$$T = K A V^3. \quad (2)$$

Quand la charge du moulin reste constante, comme dans la plupart des applications et dans ces essais (43 kilogrammètres par tour), le coefficient K diminue à mesure que la vitesse du vent augmente (la vitesse de la roue s'accroît en diminuant l'action du vent sur les ailes, ainsi qu'on peut le constater par un procédé graphique).

Le tableau suivant résume les moyennes de quelques résultats des expériences Ringelmann :

V	c	d	n	K
Mètres	Tours	Litres	—	—
4,08	1063	1563	0,817	0,0198
4,64	1233	1813	0,834	0,0156
5,25	1314	1931	0,785	0,0115
6,61	1862	2736	0,884	0,0081
7,50	2100	3086	0,878	0,0063
8,89	2200	3233	0,776	0,0039
10,00	2400	3527	0,752	0,0030

Dans ce tableau, les colonnes indiquent : V, la vitesse moyenne du vent en mètres par seconde ; c, le nombre moyen de tours de la roue du moulin par heure ; d, le volume d'eau, en litres, pratiquement élevé par heure à 10 mètres de hauteur ; n, le coefficient de la formule (1) ; K, le coefficient de la formule (2).

Pour obtenir le travail mécanique disponible, il

faut multiplier le travail T de la formule (2) par le rendement, qui varie de 0,2 à 0,4 suivant l'installation et son état d'entretien.

On le voit, les nombres qui précèdent seront utiles pour les projets relatifs aux moulins à vent, qui sont des moteurs très recommandables pour l'élévation des eaux destinées soit aux exploitations agricoles, soit aux agglomérations rurales.



CHAPITRE XVIII

**Montage, conduite et essais
des moteurs modernes**

SOMMAIRE. — I. Montage. — II. Conduite.
III. Perturbations. — IV. Essais. — V. Incendies.

I. MONTAGE

Emplacements et fondations

Tout d'abord, l'emplacement a son importance. Si, d'une part, on ne pourrait monter dans des étages des appareils trop lourds, il ne faudrait point, d'autre part, les enterrer dans des caves humides ou seulement mal aérées, mal éclairées. Les rez-de-chaussée clairs sont les mieux indiqués, avec larges baies vitrées, carreaux fins lavables, et enfin rambardes en barrière protectrice.

Mais l'importance des fondations est bien plus grande encore, car de leur inébranlable solidité dépend le bon fonctionnement du moteur, de toute la machinerie solidaire. Les matériaux à employer sont les briques très dures, homogènes et bien cuites qu'on humecte puis maçonne à plat de bas en haut, avec joints intervertis sur un bétonnage assis à même le bon sol solide, la dernière couche supérieure étant sur champ (fig. 124-125).

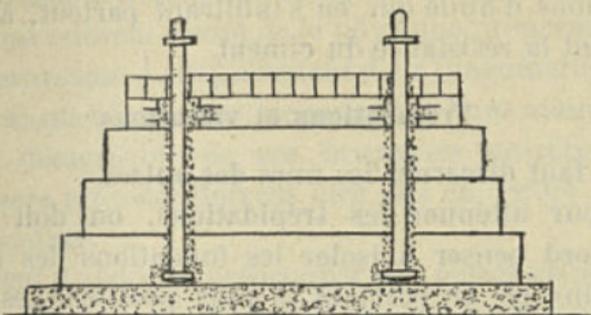


Fig. 124.

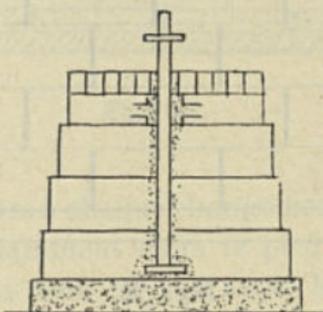


Fig. 125.

Le mortier doit être également choisi : ciment de première qualité ($1/3$), avec sable dur de rivière ($2/3$). Et les longs boulons seront encastrés comme on le voit de face et de profil, en coulant autour d'eux un lait de ciment complété de fragments de briques.

La maçonnerie terminée, on la préservera par exemple avec une carapace en zinc, contre les pro-

jections d'huile qui, en s'infiltrant partout, altéreraient la résistance du ciment.

Trépidations et vibrations

Il faut discerner les unes des autres.

Pour atténuer les trépidations, on doit tout d'abord penser à isoler les fondations des murs voisins, en les écartant le plus possible. Les ma-

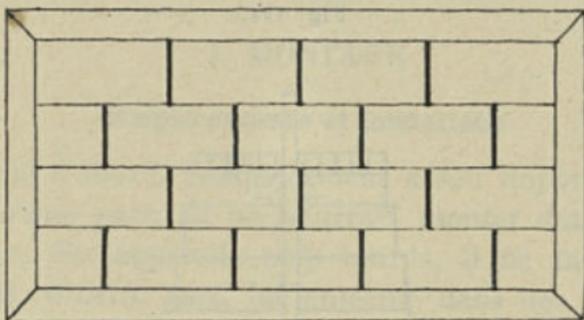


Fig. 126.

tières isolantes sont alors indiquées, notamment le caoutchouc, le liège, etc. L'auteur a personnellement expérimenté les carreaux de liège cimentés en double ou triple épaisseur de cinq ou six centimètres, suivant la puissance du moteur, et toujours en intervertissant les joints (fig. 126-127). Mais il y a lieu de préserver parfaitement ce liège des infiltrations d'eau qui risqueraient de le dilater, donc d'entraîner des dénivellations dangereuses.

Tandis que les trépidations se rattachent à un

phénomène purement mécanique, matériel, les vibrations relèvent plutôt de la physique proprement dite, provenant du déplacement d'air (pneumatique) qui transmet les bruits (acoustique). Pour atténuer l'effet désagréable de ces bruyantes pulsations, plusieurs procédés doivent être mis en œuvre lors du montage.

Il faut d'abord se préoccuper des pièces en mouvement, dont les jeux occasionnent des chocs de



Fig. 127.

plus en plus durs à chaque changement de direction du piston (notamment dans le pied de bielle, et parfois dans la tête). Il y a aussi la question de l'échappement dont nous avons déjà parlé à propos des tuyauteries, détails que nous compléterons par la proposition qui suit.

Même en supposant que la section du tuyau final soit suffisamment majorée, il y aurait tout à gagner sous le rapport silencieux, à faire déboucher ce gros tube, non plus à l'air libre, mais dans un grand coffre compartimenté horizontalement puis verticalement (fig. 128). Le gaz débouchant dans le premier compartiment inférieur, traverserait une grille chargée de gros cailloux lavés dont on n'au-

rait pas à craindre l'effritement; puis il gagnerait 2 et au travers d'une deuxième couche semblable sous 3, descendrait dans 4 contigu à 5 (tous les caisiers du bas étant vides) pour remonter finalement au travers de 6 et s'échapper dans l'atmosphère.

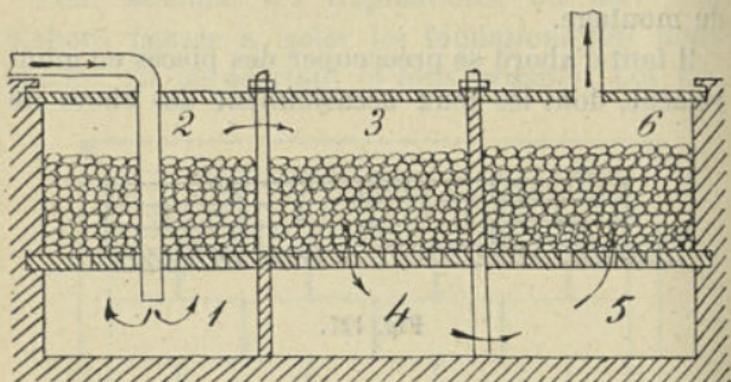


Fig. 128.

— A remarquer que les compartiments du haut ne sont pas entièrement garnis de pierres; car il est utile d'en laisser libre un bon quart, pour permettre la détente des gaz après le nouveau laminage qu'ils viennent de subir dans chaque couche. Dans le même but de sécurité, le couvercle ne devra pas être absolument rigide, pour prévoir la dilatation complémentaire de charges partiellement mal enflammées, et dont les explosions répétées pourraient provoquer des dégâts en plus des bruits par eux-mêmes très désagréables.

II. CONDUITE

Le bon fonctionnement des moteurs étant d'une importance capitale, on pourrait même dire la permanente et seule préoccupation des mécaniciens qui en ont la charge et la responsabilité, nous n'hésiterons pas à entrer dans quelques développements dès lors justifiés, en nous référant sans fausse modestie aux savants techniciens spécialistes reconnus comme les plus qualifiés pour nous servir de guides en cette circonstance.

Gazogènes

Combustibles

Rappelons d'abord que la nature du combustible employé a une grande influence sur la qualité des produits gazeux. La décomposition de l'acide carbonique (CO_2) par le carbone incandescent (C) s'opère d'autant mieux que la houille est plus poreuse, c'est-à-dire offre plus de superficie de contact; et un charbon très dense, très compact, retarde la réaction. Une autre influence solidaire et encore plus énergique par sa masse, provient de la charge elle-même, plus ou moins perméable.

L'épaisseur minimum est de 75 à 80 centimètres de hauteur avec la houille ordinaire, et de 50 à 55 centimètres avec le coke, en augmentant ces minima en rapport de la pression. L'air insufflé doit réellement traverser la couche en tous sens;

car s'il glissait le long des parois, on constaterait une composition défectueuse des gaz avec excès d'acide carbonique : d'où, en plus des considérations connues, l'utilité de donner aux cuves des formes appropriées. Le mode d'injection a aussi une grande importance pour les mêmes raisons ; les injecteurs à vapeur préconisés par Dowson semblent les plus recommandables pour régler à volonté l'afflux de l'air et l'allure du feu, malgré l'inconvénient de faire dépendre le volume d'air injecté de la quantité de vapeur d'eau qui l'accompagne (d'où la préférence donnée aux ventilateurs par d'autres spécialistes).

Les fragments chargés doivent être tels qu'ils n'opposent qu'une résistance minimum au passage des gaz, même en cherchant à obtenir la superficie maximum : deux conditions en apparence inconciliables ; et l'on tourne la difficulté en réduisant les morceaux à la grosseur d'une noix, sans poussière après criblage. Les charbons gras, avec coke agglutiné, trop collants, ne conviennent pas, car ils obstruent les passages d'entre-morceaux ; de plus, ils formeraient voûte et ne descendraient pas dans la cuve au fur et à mesure de la combustion, d'où une inégalité dans l'allure, suivie d'une extinction progressive. Et des houilles crépitantes ne conviendraient guère mieux, avec leurs poussières qui encombreraient vite les voies aérantes. Les charbons donnant trop de cendres ne sont pas à conseiller pour les mêmes raisons ; mêmes réserves pour les

houilles bitumineuses aux dépôts gênants dans les coudes, sous les soupapes, etc.

Les meilleurs combustibles sont alors représentés par les anthracites anglais (Galles), français (Dauphiné), américains, voire même espagnols, mais avec réserve pour ces derniers. Certains charbons maigres français sont également très convenables, notamment ceux d'Anzin, de Nœux, et d'autres départements (Aveyron, Gard, Saône-et-Loire, etc.).

Avec les anthracites et les maigres, le coke et le charbon de bois sont également recommandables, quoique ce dernier plus cher puisse avantageusement se remplacer par le bois naturel. De son côté, le coke n'est irréprochable que s'il ne donne pas trop de cendres ; d'où la nécessité de laver les douteux, en rejetant les trop sulfureux... Mais ces généralités ne constituent pas des règles absolues ; et les meilleurs gazogènes de l'avenir seront probablement ceux qui n'exigeront plus des combustibles trop spéciaux, car toujours plus onéreux.

Opinion résumée de M. Witz

La conduite d'un gazogène présente moins de difficultés et exige moins d'initiative, de savoir-faire que celle d'une chaudière à vapeur dont le rendement est fonction de l'habileté du chauffeur, alors qu'un gazogène en est à peu près indépendant. Le conducteur de ce dernier n'a qu'à suivre exactement les indications d'une consigne préala-

blement établie par un technicien qualifié, en tenant compte du genre d'appareil, de la qualité du charbon, du moteur à desservir, etc., — consigne qui n'est point à discuter, mais à observer scrupuleusement.

Pour mettre en feu un gazogène, on le charge d'abord de copeaux de bois sec, puis de quelques morceaux de coke et de charbon, en laissant ouverte la porte du cendrier ainsi que la cheminée d'évacuation et les trous de piquage du couvercle. Quand cette première charge est bien enflammée, on ajoute progressivement du charbon, on ferme le cendrier et les trous de piquage; puis on commence à souffler lentement, et de plus en plus fort, en fermant à moitié la cheminée de dégagement, afin de donner un peu de pression aux gaz formés et de permettre leur examen au robinet d'épreuve.

Au bout d'un petit quart d'heure, la flamme du gaz doit avoir une couleur bleue sur les bords, jaune-orange vers le centre, tout en présentant une certaine longueur, mais sans s'éteindre si l'on augmente légèrement la vitesse de sortie. A ce moment, la cuve de l'appareil sera complètement garnie de combustible.

Ayant purgé la conduite qui va du gazogène au moteur (pour la débarrasser de son mauvais gaz précédent), on répète l'épreuve du gaz contre le moteur. Le moment est alors venu de régler le débit de l'eau au scrubber et au vaporisateur : il

faut fermer rapidement la cheminée, puis mettre aussitôt le moteur en marche.

Tels sont les préliminaires applicables à toutes les installations; les constructeurs spécifiant les autres détails spéciaux quand il s'en trouve à observer. En marche normale, le conducteur doit surveiller divers détails; il s'assurera notamment que la chaudière ne manque point d'eau, que le combustible descend régulièrement vers le foyer, que le scrubber ne s'échauffe pas, etc. Si le cendrier accuse un trop-plein, l'eau doit s'en écouler au fur et à mesure de son excès; et la cuve aura toujours une couche de combustible frais surmontant la masse incandescente: règle générale, le niveau supérieur du charbon ne s'abaissera point au-dessous de la trémie de chargement.

Les charges s'effectueront régulièrement de deux en deux heures, ou mieux toutes les heures, pour leur meilleure utilisation. L'opération se fait vivement, au moyen d'un seau qu'on vide d'un trait dans la trémie, tout en veillant à ce que le couvercle s'applique hermétiquement sur son siège avant de manœuvrer la soupape inférieure.

Le nettoyage, par enlèvement des cendres et scories, ne peut guère s'effectuer en pleine marche, surtout avec les gazogènes à aspiration; on se contente d'introduire un ringard par l'orifice pratiqué dans la porte, à seule fin de dégager le foyer des scories qui l'obstruent et empêcheraient le feu de s'élever dans la cuve. Pour ne pas pro-

voquer l'entrée d'un excès d'air, on réserve le décrassage complet pour l'arrêt, mais avant le refroidissement des scories à éliminer.

Au moment d'arrêter le moteur, il faut fermer le robinet de gaz et ouvrir aussitôt la cheminée, le tirage de cette dernière restant suffisant pour entretenir la combustion. Quelques constructeurs font usage d'une double soupape conique commandée par un levier à contrepoids qui l'applique sur un siège supérieur ou inférieur, ouvrant la voie soit vers le moteur soit vers l'air libre, mais jamais deux à la fois; dispositif offrant une bonne garantie contre toute fausse manœuvre susceptible de provoquer des explosions dangereuses. On peut encore activer le tirage en ouvrant la porte du cendrier.

Enfin, avant de vider le gazogène, il faut avoir soin de fermer la trémie de chargement; précaution sans laquelle une rentrée d'air pourrait provoquer une explosion du mélange formé par l'air et le gaz demeuré dans la cuve. — Quant aux autres accidents possibles, nous en reparlerons à propos des perturbations.

Opinion résumée de M. Mathot

La bonne marche des gazogènes dépend de leur conception, des soins apportés à leur montage, de leur conduite et de leur entretien.

Pour la conception, notamment au point de vue des dimensions des divers éléments, aucun principe

absolu ne peut être imposé; car l'usage des gazogènes par aspiration n'est pas encore assez ancien. On peut néanmoins donner quelques indications.

Générateur. — Ses dimensions doivent s'inspirer de celles du moteur à desservir, supposé à simple effet avec vitesse comprise entre 150 et 250 tours par minute. La partie essentielle du générateur concourant à la production d'un gaz convenable, est celle qui se rapporte à la zone de combustion. Sa section varie tantôt entre le quart et la moitié de la surface du piston moteur, tantôt entre les cinquante et les quatre-vingt-dix pour cent de cette même superficie (selon la nature et le criblage du combustible utilisé).

Notons ici que de nombreux gazogènes pèchent plutôt par excès de grandeur, beaucoup de constructeurs peu expérimentés ayant cru avantageux de faire des appareils relativement grands, en vue d'une production de gaz plus abondante; mais, en fait, les appareils risquent de s'éteindre quand la combustion est trop peu active. Si l'on se rapporte aux principes de la formation du gaz dans les générateurs par aspiration, on peut en conclure que ce gaz est d'autant plus riche qu'est plus chaude l'allure adoptée; elle permet alors de décomposer une plus forte quantité d'eau et d'augmenter la teneur en hydrogène et oxyde de carbone.

Or, l'allure chaude s'obtient d'autant plus efficace que la combustion est plus active, et comme cette dernière est fonction de la rapidité de passage de

l'air alimentaire, on a tout intérêt à réduire la section de ce passage à un minimum compatible avec la quantité de combustible à brûler. Quant à la couche de ce dernier, il faut prévoir une hauteur égale à quatre ou cinq fois le diamètre de base.

Vaporisateur. — Les dimensions de chaque vaporisateur sont à leur tour fonction de celles de l'appareil correspondant. On ne peut donc préciser leur surface de chauffe; mais celle-ci doit être suffisante pour vaporiser, sous pression atmosphérique, environ 700 grammes d'eau par kilogramme d'anthracite consumé au générateur.

Scrubber. — Le volume de cet auxiliaire est ordinairement de six à huit fois la capacité en anthracite du générateur; et une hauteur égale à trois ou quatre fois son diamètre, suffit dans la plupart des cas, en tenant compte que, dans cette hauteur, sont comprises la chambre avec réservoir d'eau, située sous la grille, et la chambre supérieure par laquelle s'échappe le gaz. La hauteur de l'une et de l'autre dépend forcément des dispositifs adoptés pour l'entrée du gaz dans la partie inférieure du laveur, ainsi que pour le distributeur d'eau de lavage dans le haut.

Montage. — Aux généralités que nous avons données sur cette question, nous ajouterons les lignes suivantes.

Au lieu d'éliminer la fumée du début de la mise à feu par la cheminée lors du soufflage avec ventilateur, on peut la laisser passer sous le robinet

d'admission au moteur qu'on démonte à cet effet. Il faut donc fermer l'obturateur de la cheminée. La fumée en légère pression remplit ainsi les appareils et les tuyaux, puis elle s'échappe par les fuites s'il en existe et qui se révèlent alors.

Autre contrôle : on peut, pendant la marche du gazogène, promener une bougie allumée tout autour des joints, et s'il y a des fuites, il se produira une caractéristique aspiration de la petite flamme.

Conduite. — Bien que chaque constructeur joigne à son appareil une notice de conduite, on peut noter les règles générales à suivre pour la majorité des systèmes à aspiration. En particulier, la mise à feu exige la présence du conducteur et d'un aide, avec les précautions suivantes :

1° Ouvrir les portes du foyer et du cendrier, ainsi que la cheminée de dégagement, et vérifier que la grille est parfaitement propre; contrôler aussi le bon fonctionnement et l'étanchéité des organes de la boîte de chargement.

2° S'assurer de la présence de l'eau partout où elle doit se trouver (vaporisateur, scrubber, etc.), et en général du bon fonctionnement de l'alimentation.

3° Enfournier par la porte du foyer, des copeaux et autres déchets très inflammables; les allumer, puis charger de bois sec jusqu'au tiers ou à la mi-hauteur du générateur, et ajouter ensuite quelques seaux de charbon.

4° Fermer les portes du cendrier et du foyer, puis

commencer le soufflage au ventilateur; sitôt en marche, ne plus l'interrompre jusqu'à la mise en route du moteur, qui commence environ un quart d'heure après; au bout de quelques minutes de ventilation, le combustible devient assez incandescent pour produire un peu de gaz, ce que l'on contrôle par inflammation au robinet d'essai, après quoi on ferme à moitié la cheminée de dégagement pour donner un peu de pression dans les appareils.

5° Ouvrir le tube de dégagement voisin du moteur, afin de purger les appareils et les conduites de l'air qu'ils recèlent, et ce jusqu'à ce qu'on puisse maintenir le gaz allumé au robinet d'essai.

6° Régler le débit convenable de l'eau de lavage du scrubber.

7° Enfin, le moteur peut à son tour être mis en marche, dès que le gaz brûle régulièrement au robinet d'essai, avec une flamme jaune orangé après avoir débuté bleue (à cause de l'air).

8° Notons encore qu'au cours du soufflage, le combustible doit être chargé avec précaution, en vue de prévenir les explosions parfois provoquées par des rentrées d'air. Ne jamais ouvrir en même temps le couvercle de la boîte de chargement et son dispositif de communication avec le générateur. Au reste, toutes les manœuvres seront faites le plus vivement possible.

En marche normale, le conducteur doit surtout :

1° Régler et maintenir le débit convenable de l'eau alimentant le vaporisateur ;

2° Veiller à ce que l'eau arrive constamment mais sans excès, dans les appareils munis d'un trop-plein vers le cendrier ;

3° Maintenir le scrubber à basse température, en réglant bien l'arrivée de l'eau de lavage (cet appareil auxiliaire doit être un peu tiède dans le premier tiers inférieur, puis tout à fait froid dans le dernier tiers).

La main-d'œuvre se borne ensuite au chargement régulier du combustible, et à l'élimination des cendres et scories. Ce chargement périodique varie avec chaque genre de générateurs ; mais, règle générale, mieux vaut écourter les intervalles avec un surcroît de main-d'œuvre peu pénible, que de s'endormir puis bourrer en provoquant des perturbations dans le gaz ainsi mal produit. Et il est également recommandable d'employer non pas une pelle ordinaire, mais un seau spécial (fig. 129).

Au contraire, l'enlèvement des cendres et scories se fera le moins fréquemment possible, l'ouverture des portes de cendrier et de foyer amenant des rentrées d'air froid très nuisibles ; il vaut mieux profiter des arrêts quotidiens, surtout avec des charbons anthraciteux. On peut néanmoins, toutes les deux ou quatre heures, faciliter la chute des cendres en passant un ringard entre les barreaux, par une ouverture spéciale qui n'oblige pas à ouvrir les portes.

Entretien. — En partant du générateur, dont il faut décrasser la grille et vider le cendrier en

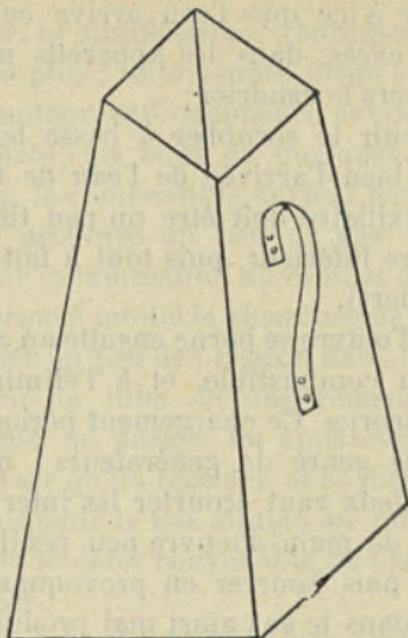


Fig. 129.

cours de marche, il y a lieu de vider complètement l'appareil une fois par semaine, afin de décoller les scories adhérentes à la cornue. Car ces scories ont le grave inconvénient de s'opposer par leurs aspérités à la descente du combustible qui dès lors forme voûte en réduisant la section utile de la cornue; et de plus, ces mêmes scories tendent à détruire le revêtement réfractaire.

Le vaporisateur sera également nettoyé tous les huit ou quinze jours, suivant le combustible plus ou moins gras et l'eau plus ou moins calcaire. Les

incrustations peuvent être combattues en mélangeant à l'eau alimentaire soit un peu de potasse, soit un peu de soude caustique.

Pour les conduites et autres passages obstrués de goudron, on les nettoie quand les appareils sont encore chauds, ou bien on peut employer un dissolvant à base soit de pétrole, soit de térébenthine. Il est utile de vérifier deux ou trois fois par semaine les parties ainsi exposées, et notamment les communications entre le vaporisateur et le scrubber.

En particulier, le compartiment inférieur du laveur retient la plus grande partie des poussières non recueillies ailleurs, poussières qui se transforment en boue, et menacent d'obstruer le tuyau de trop-plein, grave défaut ayant pour conséquence de noyer l'arrivée du gaz, donc d'arrêter le moteur ; d'où la nécessité de nettoyer cette région une ou plusieurs fois par mois. Si le laveur est garni de coke métallurgique très dur, celui-ci peut servir un an sans être renouvelé ; mais, pour débarrasser les matériaux épurants de leurs poussières et boues, il est utile de laisser couler l'eau de lavage abondamment, au moins une demi-heure chaque mois. Lors du remplacement de ces matériaux, on contrôlera la propreté des grilles où ils reposent, tout en ne forçant pas leur épaisseur au point de gêner le passage du gaz.

Enfin, on veillera tous les jours au bon fonctionnement des divers robinets et à leur parfait

entretien, comme pour tous les autres organes essentiels ou secondaires.

Arrêt. — Pour l'arrêt, on ferme d'abord l'arrivée de gaz au moteur, puis on ouvre aussitôt l'obturateur de la cheminée de dégagement du générateur, tout en interceptant l'arrivée d'eau au scrubber et au vaporisateur.

Si l'on veut garder le feu au générateur pour une reprise prochaine du travail, on ouvre la porte du cendrier en vue de ménager un tirage capable d'entretenir une faible combustion. Et l'on profite de cette ouverture pour retirer les scories de la grille, car elles se détachent mieux encore chaudes.

Une fois par semaine au moins, le générateur doit être éteint et complètement noyé. A cet effet et dès l'arrêt, on retire par la porte du foyer une partie du combustible incandescent, puis on laisse refroidir la cornue avant de la vider tout à fait (car un refroidissement trop rapide détériorerait la garniture réfractaire). Par contre, la trémie de chargement doit rester hermétiquement close tant que dure l'extraction du combustible incandescent, afin de prévenir les explosions par rentrées d'air. De plus, on devra proscrire rigoureusement tout éclairage à flamme nue, pour éviter toute inflammation des mélanges explosifs qui auraient pu se former.

Enfin, quand le générateur refroidi est tout ouvert, on procède au démontage de la boîte de chargement et de la trémie; on sort les grilles, puis on

décolle avec un ringard manœuvré d'en haut, les scories et mâchefers qui adhèrent à la cornue.

Moteurs à gaz

Opinion résumée de M. Witz

Sans être mécanicien d'une très grande habileté, le conducteur de moteurs à gaz doit être actif, vigilant et soigneux, car il lui faut plus d'initiative qu'au machiniste à vapeur.

Préparatifs. — Avant la mise en marche, on devra passer une revue attentive de tous les organes sans exception; pousser les leviers des soupapes qui doivent aussitôt et d'elles-mêmes retomber sur leurs sièges, le régulateur étant lui-même très libre. On vérifiera aussi que les graisseurs sont pleins d'huile et coulent sans obstruction.

Si l'allumage s'opère par incandescence, le brûleur Bunsen doit produire une flamme bleue; si sa flamme sortait par le haut de la cheminée, il y aurait trop de gaz, et pas assez si le gaz brûlait à l'intérieur seul du petit appareil. On allumera une dizaine de minutes avant de tourner, et, en présentant l'allumette, on posera la main sur les ouïes du brûleur. — Avec un allumage électrique, surveiller la pile, essayer la bobine dont on règle le trembleur et s'assurer que les contacts sont nettoyés et portent bien. Une magnéto par rupture de contact devra déclencher brusquement.

Mise en route. — Dès que le manchon d'allu-
Conducteur de moteurs.

mage prend la teinte rouge clair, on peut marcher. On placera le galet du levier de décharge sur la came de plus petite compression, on ouvrira le robinet à gaz de la valeur nécessaire (indiquée par un repère sur le limbe voisin), puis on fera tourner le volant. Se méfier de ses bras, de ses saillies, et ne jamais y engager le pied, mais seulement la main plus adroite. Les premières explosions sont accusées par une série de petits bruits secs; on dispose alors la came de compression normale, puis on augmente l'arrivée de gaz jusqu'à la vitesse de régime.

Cette mise en route est parfois contrariée par diverses causes à élucider : tantôt par défaut d'incandescence du manchon ou de l'appareil électrique, tantôt par manque ou par excès de gaz. Avec l'allumage électrique, on retarde d'abord la mise en feu, puis on corrige dès que le moteur est en vitesse.

Marche normale. — En fonctionnement normal, la meilleure allure au gaz de ville correspond à une température telle qu'on puisse appliquer la paume de la main sans ressentir aucune sensation désagréable; ce qui suppose un bon graissage et une circulation d'eau suffisante autour des soupapes distributrices (soit environ 40 degrés). Le « bon graissage » ne signifie point qu'on doive inonder d'huile toute la machinerie; un peu suffit d'un excellent lubrifiant versé à propos.

Les meilleures conditions de marche sont résu-

mées dans les lignes qui suivent. D'abord, le réglage de l'admission du gaz varie avec la qualité de ce dernier, plus ou moins instable; mais on peut contrôler le bon dosage du mélange en observant d'abord la marche à vide : quand ce mélange est convenable, il produit une explosion vive avec le minimum d'admission, donc le maximum de passages à vide, dans tout moteur réglé par tout ou rien. Un appareil bien conditionné fait à vide 15 0/0 d'admissions, ce qui présage une consommation aussi économique que possible.

Dès qu'un moteur fait plus de 90 0/0 d'admissions (92 à 94), il est chargé au maximum, et on l'expose aux dangers du surmenage; il faut alors resserrer la surveillance et augmenter le refroidissement. Mais il est préférable de ne pas dépasser 85 0/0 d'admissions, pour conserver une marge utile au réglage.

Les ratés d'allumage sont dénoncés au conducteur par des bruits particuliers; et les oscillations du régulateur les confirment sans erreur. Il faut alors rechercher les causes de ces défauts qui ont pour conséquences une chute de puissance et une augmentation de dépense, avec des soubresauts également intolérables. De plus, ces ratés libèrent des gaz non allumés qui vont s'accumuler dans la poche et dans la conduite d'échappement où ils explosent ensuite; et ces explosions aussi bruyantes qu'intempestives, sans être toujours dangereuses, ont au moins l'inconvénient d'incommoder le voi-

sinage. Il faut donc les faire cesser, par exemple en rodant mieux les soupapes d'échappement.

Un autre inconvénient qu'on rencontre avec certains moteurs dits « à balayage », est celui-ci : des gaz brûlés sont parfois refoulés dans le canal d'amenée; si le moteur est trop chargé et s'il a une série d'explosions, cette masse de gaz refoulés peut être pernicieuse au point de rendre le fluide impropre à la combustion, donc occasionner des ratés d'allumage. — Les appareils destinés à l'allumage doivent être toujours réglés avec une certaine avance, qui dépend des dispositions de ces organes et de leur montage dans la culasse; cette avance ne doit cependant pas être exagérée jusqu'à provoquer l'allumage avant le point mort, car on aurait alors des chocs à regretter.

Les fuites au piston et aux soupapes diminuent la compression et augmentent la consommation de gaz. On peut s'en rendre compte en tournant le piston à contre-sens, de façon à comprimer de l'air dans la culasse : abandonné ensuite à lui-même, ce piston doit vivement repartir en avant.

Le meilleur contrôle du fonctionnement est encore donné par l'indicateur et par les diagrammes relevés dans les essais préliminaires. Une combustion satisfaisante est indiquée par une forte pression explosive et par un diagramme aigu; mais si la pointe est trop fine, on a un mélange trop riche, et un sommet légèrement arrondi dénote une consommation plus écono-

mique. Si les mélanges sont trop pauvres (pas assez de gaz ou trop d'air), les courbes deviennent surbaissées et accusent une combustion trop lente qui menace d'être incomplète. Un diagramme trop allongé, maigre et sans ventre, dénote des fuites au piston ou aux soupapes, donc une diminution de puissance.

Arrêt et repos. — Pour arrêter un moteur, il faut fermer son robinet de gaz, supprimer ensuite le gaz des brûleurs, le courant de la pile et l'eau du cylindre. Pour un arrêt de courte durée, on doit mettre le vilebrequin dans la position correspondante à la phase de compression, car alors toutes les soupapes seront fermées, et l'on pourra mieux tourner au volant. Si on prévoit un long arrêt, on laissera le piston au point mort vers l'extrémité ouverte du cylindre ; on préviendra ainsi l'accumulation des poussières susceptibles de rayer le cylindre.

Les soupapes de décharge seront nettoyées au moins deux fois par mois, en les rodant sur leurs sièges s'il y a lieu (potée d'émeri très fine avec huile, puis huile seule). Le démontage des autres soupapes pourra être moins fréquent, mais leur nettoyage sera aussi soigné au papier doux d'émeri. Tous leurs ressorts seront surveillés de près, et remplacés dès que leur énergie de rappel faiblira.

Le cylindre et son piston seront nettoyés tous les deux ou trois mois. Ce dernier étant sorti, on

le débarrassera de ses cercles qui seront nettoyés au chiffon pétroleux, puis graissés à la paraffine. Les dépôts du fond de cylindre devront être grattés, puis débouchés les trous et rainures de graissage.

En remontant la bielle, on devra serrer à fond les contre-écrous du chapeau, pour prévenir tout desserrage spontané des boulons. Vérifier et au besoin remplacer l'amiante de la cheminée d'allumage, s'il est en mauvais état.

Enfin, les bougies électriques ne doivent pas être trop effilées ; les pointes légèrement émoussées donnent les meilleures étincelles.

Opinion résumée de M. Mathot

Cet auteur plus récent donne des détails encore plus complets que ceux de M. Witz.

Préliminaires. — La première précaution à prendre avec un moteur au gaz de ville, consiste à ouvrir le robinet du compteur ainsi que ceux qui se trouvent entre ce dernier et la machine. L'arrivée du fluide sera contrôlée par le gonflement des poches en caoutchouc. On ouvrira ensuite le robinet de purge de la conduite de gaz, puis on contrôlera le degré de pureté de ce fluide en l'enflammant à la sortie dudit robinet ; on le laissera brûler jusqu'à ce qu'il passe du bleu clair au jaune éclairant.

Si l'allumage a lieu par tube incandescent, on allumera le Bunsen pour s'assurer que la flamme

entourant ce tube est bien bleue, et l'on rectifiera au besoin l'admission d'air de son ajustage. Une flamme blanche ou fuligineuse provient d'un manque d'air, et elle dégage une mauvaise odeur de suif calciné; tandis que la couleur bleue ou verdâtre est la plus chaude et la meilleure.

Il faut au tube, suivant son système, de 5 à 10 minutes pour qu'il atteigne une température donnant comme bonne couleur le rouge-cerise éblouissant. On mettra cette attente à profit pour vérifier le graissage de toute la machine; les réservoirs et godets devront être remplis, avec mèches enfilées s'il y a lieu, ou compte-gouttes dévissés, etc. On manœuvrera ensuite les leviers de commande des soupapes, lesquelles doivent aussitôt retomber sur leurs sièges; et l'on enduira de pétrole la tige de la soupape d'échappement.

Si l'allumage se fait par piles et bobines, on devra s'assurer que le courant passe en temps voulu et provoque le contact à la touche montée sur l'arbre intermédiaire, contact qui doit déterminer un ronflement caractéristique de la bobine. Avec une magnéto, généralement indé réglable, on a encore plus de sécurité; il faudra néanmoins veiller, comme pour la bobine, à mettre en bonne posture le dispositif qui doit retarder la production de l'étincelle pour la mise en marche, — précaution indispensable si l'on veut prévenir toute explosion anticipée susceptible de déterminer le brusque retour en arrière du moteur.

Le moteur sera mis à la position de départ qui se trouve précisée à l'aide d'un repère poinçonné sur l'arbre latéral ; cette position de départ correspond à la phase explosion-détente, ordinairement sous une inclinaison de 40 à 60° du coudé vers l'arrière et vers le haut. Ouvrir alors le robinet de gaz jusqu'au repère convenu ; à défaut de ce dernier, il faudra ouvrir graduellement et avec précaution ledit robinet, pour ne pas provoquer d'explosion anticipée par excès de gaz.

La plupart des moteurs ont leur arbre intermédiaire armé d'une came dite de « décompression » ou de « demi-compression ». Grâce à cette came, on peut faire tourner le volant sans avoir à surmonter la résistance de la compression complète ; et on la dégage dès que les premières explosions ont produit une certaine vitesse.

Quand les moteurs atteignent une puissance un peu élevée, chacun d'eux possède une mise en marche automatique que l'on manœuvre en suivant les instructions du constructeur. Ceux qui ont une pompe à main pour comprimer un mélange tonnant, exigent quelques précautions supplémentaires ; il faut surtout contrôler l'étanchéité et le libre fonctionnement de la soupape du clapet de retenue chargés de prévenir le retour de l'explosion du cylindre moteur vers la pompe, précaution sans laquelle on s'exposerait au choc brusque du piston de cette pompe, en cas d'explosion de retour.

Si l'on se trouve en présence d'un moteur qui a chômé pendant plusieurs jours, on ne le remettra en marche qu'après lui avoir fait faire quelques tours à vide, afin de vérifier le bon fonctionnement des organes respectifs; et l'on recommencera de même, si la première tentative a échoué, pour chasser les gaz incomplets du cylindre. Mais chacune de ces manœuvres exige la fermeture du robinet de gaz, qui, sans cela, pourrait déterminer une explosion intempestive.

Il faut recommander au conducteur de ne pas se pencher au-dessus du tube allumeur, exposé à se briser avec éclats dangereux. Enfin, pour d'autres raisons de sécurité, le volant ne sera jamais tourné avec le pied pris dans les rayons, mais seulement en forçant des mains sur la jante.

Régime de marche. — La vitesse normale obtenue, on la maintiendra en vérifiant le libre fonctionnement du régulateur destiné à prévenir tout emballement. On cherchera ensuite, en manœuvrant les robinets de circulation aqueuse, à régler cette dernière d'après le travail fourni par le moteur, de manière à conserver à l'extérieur du cylindre une température supportable d'environ 40 degrés.

Précaution analogue pour les paliers, qui ne doivent point s'échauffer.

Arrêt. — En vue de l'arrêt du moteur, on devra observer les précautions suivantes :

1° Ralentir quelques minutes, tout en faisant

agir la came de décompression, afin de prévenir tout refoulement en arrière par l'effet de la compression ;

2° Arrêter, avec le principal, les divers appareils animés ;

3° Débrayer, s'il y a lieu, la courroie de commande du moteur ;

4° Fermer le robinet de la conduite, au delà des poches de gaz ;

5° Fermer le robinet d'admission de gaz au moteur ;

6° Fermer les graisseurs libres et retirer les mèches des autres ;

7° Fermer le robinet d'arrivée d'eau, si le refroidissement s'opère à l'eau courante ;

8° Enfin, si le moteur actionne une dynamo, relever les balais de cette dernière un peu avant l'arrêt complet, pour prévenir toute détérioration de ces balais, en cas de retour en sens inverse de l'arbre.

Pendant l'hiver, si on redoutait la gelée, il faudrait prévenir la congélation redoutable de l'eau (éclatements, etc.), en enveloppant le moteur au repos de bâches protectrices, ou en allumant sous son cylindre un brûleur capable de maintenir une légère circulation, ou mieux encore en vidant l'eau.

— Passons maintenant à l'examen des conditions que M. Mathot regarde comme indispensables pour la bonne marche des moteurs.

Entretien. — En toute première ligne, il faut citer la propreté qui, même pour les pièces de rôle secondaire, doit régner en souveraine partout. Tout ce qui n'est pas peint, toutes les parties polies (arbres, cames, leviers, bielles, etc.) doivent être maintenues brillantes comme à l'état neuf, sans la moindre trace de rouille ; et cette impeccabilité extérieure (comme la tenue pour l'homme soigneux, de mentalité noble) sera une garantie presque certaine quant au bon état des organes intérieurs.

Graissage. — Toutes les surfaces frottantes doivent être soigneusement lubrifiées. Pour le cylindre, on devra recourir aux huiles spéciales d'un prix en apparence un peu élevé, mais dont l'usage devient indispensable si l'on tient à la conservation de l'organe principal ; il ne faudra pas graisser en excès, mais encore moins en défaut, car on conçoit que les inconvénients seraient plus graves dans ce cas que dans l'autre. Et l'on veillera également au jeu strictement nécessaire des axes, guidages, coussinets et autres contacts dont l'exagération en plus ou en moins est suivie de chocs ou d'échauffements également inacceptables.

Cylindre et dépendances. — En plus du graissage, il faut se préoccuper aussi de l'étanchéité du cylindre, un des principaux éléments de la puissance développée provenant de la compression du mélange tonnant, compression à maintenir par le bon état des organes assurant l'étanchéité du cylindre : piston, soupapes et dispositif d'allumage.

Pour se maintenir étanche, le cylindre ne devra pas être exposé à l'usure par les cercles ou segments ; en tout cas, il ne faudra point qu'on puisse y voir des grippures sur toute sa surface toujours parfaitement polie. Pour les nettoyages, on évitera l'usage du papier émeri et surtout de toute poudre susceptible d'altérer par frottement le bon état des portages, donc de nuire à l'étanchéité. Enfin, on devra débarrasser de leur cambouis les segments qui pourraient coller dans leurs rainures ; puis on lavera le tout avec du pétrole très propre.

D'autre part, le rodage des soupapes sera fait avec autant de soin ; on les vérifiera au moins une fois par mois, même si elles ne présentent aucune trace d'usure irrégulière. Pendant cette opération, qui exige le démontage du couvercle, on s'abstiendra d'introduire la plus faible lumière dans leur boîte, pas plus que dans le cylindre, à moins de s'assurer d'abord que le robinet à gaz est hermétiquement fermé et qu'il ne reste aucune trace de fluide dans ces endroits. De plus, on virera le moteur à vide pendant deux ou trois tours, pour en chasser les mélanges détonants qui auraient pu être oubliés.

Avant de quitter les délicates soupapes, ajoutons quelques lignes relatives à leurs joints (spéciaux, car les boîtes de soupapes et autres parties démontables sont assemblées métal sur métal, sans interposition d'aucune matière complémentaire). Dans certains moteurs, on rencontre encore des joints

en amiante, qu'il suffit de remplacer de loin en loin, mais sans attendre leur destruction trop avancée. Comme préparatifs particuliers, on trempe d'abord dans l'eau les feuilles découpées, puis on les laisse sécher à moitié et on les enduit avec de l'huile d'olive ou de lin sur la face où elles doivent se fixer au moteur, tandis que du côté couvercle on les saupoudre de talc ou de plombagine : le joint adhère ainsi d'une part, et se détache aisément d'autre part.

Les joints exposés au contact des gaz dans la chambre d'explosion, ne devront offrir aucune saillie vers l'intérieur, pour que lors de la compression, ces excroissances mal refroidies ne puissent provoquer des inflammations prématurées. Règle générale : tout couvercle sera resserré après quelques heures ou quelques jours de marche, lorsque la dilatation aura nécessité cette reprise.

Régulateur. — Cet organe également délicat sera, lui aussi, l'objet de soins particuliers, notamment sous le rapport de la propreté ; sa sensibilité doit en effet demeurer extrêmement fine, donc libre, sans quoi il devient paresseux et moins efficace. Si le système est à boules ou à pendule conique soumis à la force centrifuge, chaque articulation devra être bien graissée, mais sans excès. Pour éviter toute accumulation et solidification de l'huile, on alternera celle-ci avec du pétrole qui nettoie mieux.

Quand le régulateur fonctionne par inertie (ce

qui a lieu dans beaucoup de petits moteurs par tout ou rien), il exige moins de soins ; mais il faut quand même contrôler son graissage. Ce fonctionnement se règle souvent par la tension d'un ressort ou par un contrepoids. Pour augmenter la vitesse du moteur (en multipliant le nombre d'admissions par minute), on modifie alors la position du contrepoids ou la tension du ressort ; et ce en pleine marche, sans aucun inconvénient.

Réglage. — Bien que les moteurs soient ordinairement essayés et réglés à leur maximum de rendement avant de quitter leurs ateliers de construction, ce réglage ne pourra pas toujours se faire *a priori*, la richesse des gaz, donc le rendement des machines étant susceptible de varier plus ou moins, d'une ville à l'autre, et pour l'usine à gaz et par rapport à l'altitude du lieu, la densité diminuant en sens inverse de cette dernière : ainsi, à volume égal, il s'en aspire moins.

En d'autres termes, il vaut mieux faire à poste le réglage définitif. Cette précaution est d'autant plus sérieuse qu'il suffit que l'inflammation du mélange s'opère une fraction de seconde trop tôt ou trop tard, pour que l'effet produit perde beaucoup de sa valeur. Il suit donc en complément qu'on a tout intérêt à revoir périodiquement ce réglage, en se servant des petits appareils spéciaux, tels qu'indicateurs de diagrammes et enregistreurs d'explosion, dont l'usage ne peut être que très utile et finalement économique.

Serrage. — Le serrage à bloc des divers écrous et contre-écrous est d'autant plus indispensable dans les moteurs modernes, que leurs explosions rapides et saccadées tendent à desserrer les boulons et à augmenter plus vite l'usure des coussinets, au matage dès lors rapide. De plus, les jeux dans ces coussinets et surtout dans le sens des bielles, accentuent encore les bruits ordinaires, les rendant à la fois désagréables et dangereux, si on n'y remédie promptement.

Circulation d'eau. — Le réglage de la circulation d'eau est également nécessaire, pour maintenir l'enveloppe au degré voulu, et d'après le travail du moment : ce que l'on surveille en ouvrant plus ou moins le robinet greffé sur le tuyau à l'entrée du cylindre. M. Mathot conseille une température plus élevée que 40°. « La température de 60 à 70 degrés que nous venons de citer, ajoute-t-il, peut paraître exagérée à première vue, parce qu'elle est telle que la main ne peut soutenir le contact du tuyau de sortie. Mais il sera facile de s'assurer que le cylindre ne chauffe pas à l'excès, tant qu'on pourra tenir aisément la main au-dessous de l'enveloppe, c'est-à-dire dans le voisinage de l'entrée d'eau. Ceci, bien entendu, pour les moteurs à compression variant de 4 à 7 kilogrammes ».

Avec les moteurs à compression plus forte, il faudra fonctionner à une température moins élevée (40°), et suivre les indications du constructeur.

Moteurs à pétrole

Les moteurs à pétrole, nous l'avons constaté, ne diffèrent pas sensiblement des moteurs à gaz, quant à l'aspect général et au mode de réglage; mais leur vitesse de régime dépasse ordinairement d'un bon quart la précédente. On les emploie surtout dans les régions où le pétrole est à prix réduit.

Au point de vue de la conduite, nous ne répétons pas les indications précédentes qui sont toutes applicables ici. On doit seulement insister sur la nécessité de nettoyer encore plus fréquemment les soupapes et autres organes actifs, rapidement encrassés par les résidus charbonneux du pétrole et qui provoquent alors des allumages prématurés.

Moteurs à essence

Ces appareils se répandent de plus en plus, grâce à leurs multiples qualités de vitesse, de légèreté, d'exiguïté, en un mot, d'économie générale, malgré le prix encore élevé de leurs fluides alimentaires.

Opinion résumée de M. Bauchet

Ingénieur-constructeur spécialiste de moteurs à essence, M. Bauchet nous semble également des mieux qualifiés pour nous prêter ses lumières en la circonstance.

Préliminaires. — On doit successivement : emplir d'huile le graisseur, mettre de la graisse dans le godet de la portée arrière; humecter d'huile ou

de graisse toutes les articulations du régulateur, notamment la rampe-levée de la soupape et la bague à deux gorges qui coulisse sur le support de la masse centrifuge. Ouvrir ensuite le robinet d'essence; puis s'apprêter à allumer.

Allumage. — 1° Par accu et bobine. — Tourner à la main le volant du moteur pour amener la came d'allumage en contact avec le plot ou balai auquel s'attache le petit fil venu de la bobine; le trembleur de cette dernière doit alors vibrer. On peut également faire vibrer le trembleur et vérifier l'étincelle en formant contact avec une pièce de métal (clef, etc.) entre le balai d'allumage et le moteur proprement dit.

2° Par magnéto — Ouvrir le robinet de compression; retirer le petit couvercle de la magnéto; tourner ensuite le volant jusqu'à ce que la came arrive en face de la borne d'attache du fil qui va à la bougie. On tournera le volant jusqu'à ce qu'un petit intervalle soit visible entre la vis platinée et la goutte fixe en platine. Dans les moteurs Baudet, tourner le dit volant jusqu'à ce que la soupape d'échappement soit retombée (piston en haut de sa course).

Arrivée d'essence. — Soulever avec les doigts la tige du flotteur ou appuyer dessus (suivant le type du carburateur); attendre ainsi jusqu'à ce que l'essence vienne déborder par le couvercle. L'allumage étant établi, on peut alors lancer le moteur.

Lancement. — Deux cas à distinguer :

1° Sans poulie folle. — On ouvrira le robinet de compression, pour tirer aussitôt sur la courroie, de telle manière que l'arbre de couche fasse plusieurs tours consécutifs. Après les premières explosions, fermer le robinet de compression, puis donner progressivement de l'avance à l'allumage.

2° Avec poulie folle. — Ayant mis la courroie sur cette dernière, on fermera le robinet de compression, puis on fera faire quelques tours de volant avec la manivelle de lancement. Amener ensuite le volant au point où s'accuse la compression, le maintenir d'une main pour empêcher son recul, prendre la manivelle de l'autre main, puis lancer en passant brusquement la compression. Changer au besoin la manivelle de cran, de telle sorte que la compression puisse se passer, non pas en poussant avec la main, mais en tirant vers soi.

Embrayage. — Avant d'embrayer, on donnera un peu d'avance à l'allumage, et l'on démarrera les appareils à actionner en tirant sur la courroie dirigée vers la poulie motrice. Dès que le moteur sera en marche, on mettra encore de l'avance à l'allumage et on réglera le ressort du régulateur d'après la puissance et la vitesse nécessaires.

Cette avance n'est pas invariable; elle doit suivre les diverses tensions du ressort du régulateur. Par exemple, il ne faudrait pas mettre toute l'avance et détendre entièrement le ressort; on serait d'ailleurs averti par le piston qui cognerait, les explosions étant trop précipitées pour la vitesse du mo-

ment. Et il ne faudrait pas non plus tendre entièrement ce même ressort en négligeant toute avance ; car alors le régulateur serait immobilisé, ce qui augmenterait la consommation. Un peu de pratique et de patiente observation conduiront au résultat le plus économique.

Arrêt. — Si l'allumage est par accumulateur et bobine, on fermera le robinet d'essence, on enlèvera la fiche et l'on ouvrira le robinet de compression.

Avec un allumage par magnéto, on n'aura qu'à appuyer sur la manivelle du régulateur, pour maintenir la soupape levée ou la valve du régulateur fermée jusqu'à l'arrêt du moteur.

III. PERTURBATIONS

Les causes de mauvais fonctionnement des moteurs sont trop intéressantes à rechercher pour que nous ne profitions pas des lumières que nous offrent encore les spécialistes qualifiés.

Moteurs à gaz

Conservons l'ordre adopté.

Explications de M. Witz

Elles complètent les observations relatives à la conduite des gazogènes. Quand un moteur est alimenté par une batterie de gazogènes et qu'on place sur la conduite de gaz un épurateur de capacité suffisante, une fausse manœuvre peut remplir ces

récipients d'un mélange dont l'explosion serait dangereuse. Une de ces mauvaises manœuvres consiste à laisser entrer l'air par la trémie sans fermer le couvercle supérieur, avant de faire descendre le combustible par la soupape du pied de cette trémie. Une autre mauvaise manœuvre peut provenir des vannes d'isolement des gazogènes ou des appareils accessoires, si l'un d'eux est arrêté (réparations, etc.); il faut alors bien se garder d'ouvrir à la fois la vanne qui communique avec l'air extérieur et celle qui envoie les gaz vers le collecteur général (mieux vaut encore que cette ouverture simultanée soit rendue impossible par la construction même). D'autres rentrées d'air dangereuses peuvent enfin venir par les regards des producteurs ou par les canalisations mal étanches.

De son côté, M. Roche a mentionné une nouvelle cause d'explosion dans certains gazogènes où l'air de combustion parvient au foyer par deux surfaces cylindriques étagées, où le charbon arrive en suivant sa pente naturelle d'éboulement. Il faut alors disposer deux vannes d'admission d'air qui permettent de régler à volonté l'afflux du comburant dans chaque étage.

Autre source d'accidents : dès qu'on a stoppé le moteur, on court ouvrir la cheminée de tirage allant vers la toiture ; mais si cette manœuvre s'effectue avant qu'on ait fermé la valve sur le moteur immobile, il se produit un appel d'air par la cheminée avec formation de mélange explosif.

En résumé, il est donc recommandable de prévenir ces explosions avec leurs conséquences : munir les scrubbers de portes peu résistantes, par exemple en bois très mince enrobé de caoutchouc, qui agissent comme soupapes de sûreté en cas de déflagration ; construire les épurateurs plus résistants, en les fermant de couvercles à clôture élastique, etc.

Explications de M. Mathot

Résumons-les dans l'ordre adopté par l'auteur, bien que cette succession puisse paraître illogique sur quelques points, tout en considérant d'abord les difficultés de la mise en marche.

Défaut de compression. — Ce défaut gêne plus ou moins l'inflammation du mélange. On le constate en faisant marcher le piston en sens inverse de la période qui correspond à la compression, en d'autres termes à celle où toutes les soupapes sont closes : si on ne sent aucune résistance, c'est une preuve que l'air ou le mélange gazeux fuit du cylindre par le piston, ou encore par la soupape d'admission ou par celle d'échappement.

De leur côté, les soupapes sont maintenues sur leurs sièges par des ressorts dont l'énergie laisse parfois à désirer ; elles peuvent alors ne pas porter exactement, surtout si un petit corps étranger venait à s'interposer dans leur portage. Après un long fonctionnement, il peut se produire une usure telle qu'il faille procéder à leur rodage.

Si une soupape se calait (défaut accusé par la manœuvre des leviers de commande), on devrait nettoyer la tige et son guidage probablement gênés par du cambouis. Dans un moteur neuf, ce calage peut provenir de l'absence de jeu entre la tige et son guidage ; on rectifiera en émerisant la tige et en la graissant avec de l'huile de cylindre (soupape d'admission) ou avec du pétrole (échappement).

Cette dernière soupape peut avoir d'autres défauts d'étanchéité. Le ressort s'étant affaibli, laisse la soupape se soulever sous l'effet de l'aspiration ; d'autres fois, la molette qui sert de contact entre le levier et la tige, n'a pas assez de jeu, et cette tige s'allongeant par dilatation, gêne la soupape dans sa retombée. Il faut alors, dans le premier cas, remplacer le ressort ; dans le deuxième, rectifier le contact de la molette.

Par ailleurs, le piston peut perdre son étanchéité soit par usure, soit par rupture de l'un de ses cercles ; à moins que ce ne soit après une lente ovalisation du cylindre. On entend alors un sifflement de repassage, qui révèle le défaut à corriger.

Eau dans le cylindre. — On constate quelquefois un entraînement d'eau par le gaz vers le cylindre : défaut d'étanchéité du joint de l'enveloppe, ou condensation contre les parois cylindriques froides, de la vapeur provenant de la combinaison chimique de l'hydrogène du gaz et de l'oxygène de l'air ; ou accumulation du liquide dans le tuyau et le pot d'échappement mal purgés. Quelle que soit la cause

de cette présence insolite de l'eau, elle gêne la mise en marche, par suite du refroidissement des gaz, et réduit d'autant la pression disponible.

Dans les moteurs à allumage électrique, elle s'insinue sous forme de gouttelettes entre les contacts, provoquant un court-circuit qui gêne le jaillissement de l'étincelle.

Quand le cylindre ne possède pas de robinet purgeur, on ne peut démarrer qu'en renouvelant les tentatives de mise en marche. Lorsque la mauvaise étanchéité du joint ou une partie graveleuse dans la fonte du cylindre laissent passer l'eau de l'enveloppe, on s'en aperçoit par un dégagement de bulles gazeuses dans le réservoir d'eau, vers l'orifice du tube d'arrivée. En attendant une réparation sérieuse, on pourra atténuer les conséquences en fermant, lors du repos du moteur, les robinets d'arrêt de la circulation.

Allumage défectueux. — Les inconvénients diffèrent avec la nature de l'allumage.

1° Allumage par tube. Lors de la mise en marche, les tubes se brisent parfois. S'ils sont en faïence, la rupture doit provenir d'un serrage en porte-à-faux, ou d'une présence d'eau dans le cylindre. Les tubes métalliques, de leur côté, cassent par suite d'usure, et au départ où les explosions sont plus brusques, car on a tendance à admettre trop de gaz.

Les ratés d'allumage proviennent ordinairement de défauts de tube, tels qu'obstructions ou fuites.

aux joints, en laissant échapper un peu de mélange avant son inflammation (ce qui est accusé par un sifflement caractéristique). La fuite au tube se révèle tantôt à la base et tantôt au sommet : dans le premier cas, la mise en marche est très pénible, la partie du mélange comprimé vers le tube s'échappant par l'orifice avant de parvenir à la zone incandescente ; dans le second cas, l'allumage subira un retard trop considérable pour donner un effort moteur suffisant.

Tous ces défauts signalés appellent d'eux-mêmes leurs remèdes efficaces. — Ne pas oublier aussi le rôle important de la soupape d'inflammation, dont le manque d'étanchéité ou de libre fonctionnement constitue un obstacle lors de la mise en marche.

2° Allumage par piles ou magnétos. Si l'étincelle ne donne pas le résultat attendu, on vérifiera si elle se produit en temps utile, c'est-à-dire un peu après le point mort, dans la position particulière qu'on attribue au dispositif d'allumage pour la mise en marche. Pour cela, si l'allumage est par bobine et batterie, on démontera la bougie pour la déposer avec son armature-masse sur une partie métallique très bien polie afin d'assurer un bon contact électrique, tout en prévenant le contact, avec cette partie en métal, de la borne qui porte le fil conducteur. — Même vérification à faire, s'il s'agit du dispositif d'arrachement d'un appareil magnéto-électrique. Dans l'un comme dans l'autre cas, on observera s'il ne se produit aucun court-

circuit ; et l'on nettoiera les contacts avec un peu de benzine, s'ils en ont besoin.

Si, malgré cela, aucune étincelle n'apparaissait à la bougie ou au contact d'arrachement, on pourrait en conclure que le défaut se trouve soit dans la mauvaise continuité des conducteurs, soit dans la génératrice de courant elle-même. On devra donc poursuivre les recherches jusqu'à complète satisfaction.

Allumage prématuré. — Rappelons que le moment d'inflammation du mélange a une grande influence sur le fonctionnement des moteurs, donc sur leur marche économique. Quand l'allumage est prématuré, il s'accuse par un choc violent lorsque le piston va franchir le point mort arrière, vers la fin de la compression ; effets d'autant plus redoutables qu'ils ont tendance à s'aggraver, en entraînant la surchauffe interne du moteur.

Cette inflammation anticipée peut être occasionnée de diverses façons : zone incandescente trop rapprochée de la base, avec un tube sans soupape ; avec soupape, celle-ci peut être mal étanche ou s'ouvrir trop tôt ; avec un allumage électrique, le contact peut s'effectuer trop vite si le réglage est défectueux.

En dehors de ces causes provenant de l'allumage proprement dit, on constate parfois des inflammations prématurées par suite d'un échauffement excessif des organes extérieurs occasionné par une surcharge ou par une circulation insuffisante.

D'autres fois, les causes sont d'une autre nature accidentelle, comme la malpropreté des organes internes, ou l'échauffement d'une pièce en saillie, rendue incandescente par la compression, etc. ; elles sont accusées par des chocs plus violents qui vont jusqu'à déterminer l'arrêt du moteur, par suite de la résistance que ces explosions présentent dans la période de compression. Il faut alors démonter le cylindre, le vérifier et le nettoyer ainsi que son piston.

Détonations intempestives. — En marche normale, les explosions doivent être à peine perceptibles dans l'ambiance. Les détonations intempestives, quoique plus bruyantes que dangereuses, accusent toujours un vice de fonctionnement ; elles se produisent soit dans l'échappement (dispositif d'aspiration d'air), soit plus près du moteur. Les premières sont occasionnées par la déflagration dans le tuyau d'échappement d'une charge de mélange qui n'a pas été allumée dans le cylindre, puis a été chassée plus loin, où elle prend feu au contact de gaz encore incandescents.

Les détonations qui proviennent du dispositif d'aspiration d'air sont encore plus bruyantes et gênantes que les autres ; on les constate à la suite d'un refoulement accidentel du mélange détonant, qui s'allume en dehors du cylindre. Trois cas peuvent alors se présenter :

1° La soupape d'aspiration du mélange n'est pas bien étanche, et elle laisse repasser une certaine

quantité de ce mélange qui, lors de la compression, va se loger dans le bâti ou dans le pot d'aspiration d'air ; dès que l'explosion a lieu dans le cylindre, elle se communique à la partie qui vient de repasser : il faut alors roder la soupape d'aspiration pour sa parfaite étanchéité.

2° A la fin de la course d'échappement, il peut rester des parcelles incandescentes provenant soit de cambouis, soit de saillies mal refroidies ; et le mélange s'enflamme prématurément lors de l'aspiration, tant qu'on n'a pas fait disparaître ces inconvénients.

3° Pour réaliser le balayage des produits de la combustion, on règle par anticipation l'ouverture de la soupape de mélange avant la fin de la course rétrograde du piston, et la fermeture de la soupape d'échappement ; il en résulte dans le cylindre une dépression qui provoque un appel d'air par la soupape de mélange ainsi ouverte, et par suite l'expulsion des gaz brûlés qui, sans cela resteraient en partie dans ledit cylindre. On conçoit dès lors que si une charge tonnante a mal explosé, elle ressortira du cylindre sans vitesse acquise, puis repassera en partie par la soupape de mélange vers la course d'échappement, pour venir enfin se loger dans le dispositif d'aspiration d'air ; et, malgré l'aspiration qui suit aussitôt ce refoulement, une certaine portion de ce mélange tonnant demeure confinée dans le tuyau d'aspiration et ses annexes, puis prend feu vers la fin de la

course d'échappement, à l'ouverture de la soupape de mélange.

On évitera ces détonations en assurant la régulière inflammation du mélange, soit en réglant mieux ses proportions, soit en rectifiant l'allumage.

Explosions retardées. — Ces retards occasionnent une réduction notable du rendement, avec une augmentation proportionnelle dans la consommation ; ils peuvent provenir soit d'un allumage défectueux, soit d'un mélange trop pauvre, soit d'une perte de compression.

a) Allumage défectueux. Rappelons qu'on doit veiller de près au bon réglage de l'inflammation :

1° Avec un tube incandescent, démuné de soupape mais armé d'un brûleur dont on peut faire varier la position, on rapprochera celui-ci de la base du tube afin d'avancer l'allumage, ou bien on l'en éloignera pour le retarder, suivant le cas.

2° Avec un tube muni d'un brûleur fixe, l'instant de l'allumage dépendra de la longueur de ce tube : ce dernier l'avancera ou le retardera en rapport de sa longueur ou de sa brièveté.

3° Avec un tube armé d'une soupape d'allumage, le point d'inflammation étant réglé par le constructeur, ne pourra se modifier que par usure de la tige de cette soupape ou par déformation de la came de commande. Dans un cas comme dans l'autre, on devra au plus tôt remettre les choses en leur état normal.

4° Avec l'allumage électrique, le mouvement de

commande possède un dispositif de réglage qu'on doit pouvoir manœuvrer à la main pendant la marche du moteur. La manœuvre de la manette de réglage ne produisant rien de satisfaisant, on devra regarder si l'étincelle éclate normalement ; en d'autres termes, à l'arrêt du moteur, on retirera une des boîtes de soupape et par cette ouverture on se rendra mieux compte de l'intensité de l'étincelle, en virant le moteur à la main ; mais on aura d'abord soin de bien purger le cylindre des gaz qu'il pourrait contenir, autant de menaces d'explosions dangereuses.

Si, alors, on trouve une étincelle trop faible, tandis que tout le reste est bien réglé, on en conclura un défaut de courant provenant d'une des causes suivantes :

Contact imparfait aux bornes, au fil conducteur ou aux pièces de rupture ;

Court-circuit dans l'une des pièces isolées ;

Présence d'une couche de cambouis ou d'huile entre l'armature et les aimants ;

Présence d'huile ou d'eau sur les pièces de rupture ;

Epuisement des aimants, après une durée assez longue, ou après exposition à une température élevée.

Chacun de ces défauts comporte de lui-même son remède.

b) Pauvreté du mélange. On l'enrichira comme il convient.

c) Perte de compression. On contrôlera également la compression, pour la ramener à sa normale s'il y a lieu.

Jeux dans les pièces. — Les jeux provenant d'un défaut de construction ou de montage, ont tendance à exagérer l'usure tout en provoquant des chocs de plus en plus graves, et un dérèglement général dans toute la machinerie.

En particulier, l'usure des cames, des galets et des axes de leviers entraîne un retard dans l'ouverture des soupapes d'admission et d'échappement, puis une avance à leur fermeture. Dès lors, l'allumage s'en trouve retardé ; le moteur perd de sa force, tandis que sa consommation augmente avec excès.

Echauffement des coussinets. — Les coussinets peuvent s'échauffer pour diverses raisons : serrage trop dur ou trop lâche, défaut de graissage ou emploi d'un lubrifiant de mauvaise qualité. L'échauffement peut empirer au point d'amener le grippage des surfaces en contact et même faire fondre l'antifriction quand il y en a ; d'où la nécessité de contrôler fréquemment la température de ces pièces en les tâtant de la main qui, posée à l'extérieur, ne doit éprouver aucune sensation désagréable.

Dans le cas contraire, on devrait forcer le graissage, et, en cas d'insuffisance, l'augmenter encore tout en arrosant avec de l'eau savonneuse au dehors comme au dedans, combinaison qui amène d'ordi-

naire le refroidissement attendu. Dans le cas contraire, on sent une odeur désagréable d'huile brûlée dont il faut aussitôt supprimer l'usage, pour ne pas aggraver le mal, en continuant l'emploi seul de l'eau mousseuse et en entourant la pièce de linges incessamment refroidis. On peut encore essayer l'huile très fluide saupoudrée de fleur de soufre, voire même de l'huile de ricin toute seule. Mais le mieux encore est de ne pas trop insister, de prévenir tout l'atelier, diminuer la vitesse et arrêter finalement, pour pouvoir démonter et examiner les pièces incriminées.

A l'établi, on fera disparaître au grattoir toute trace de grippage, puis on régularisera sous la lime douce pour polir enfin au papier émeri à très petit grain, essuyer, graisser et remonter en s'assurant du portage régulier. On ne remettra en marche que lentement, sous une surveillance attentive qui ne devra point se relâcher jusqu'à ce qu'on soit longuement fixé sur la disparition de tout nouveau danger.

Echauffement du cylindre. — Cet accident peut provenir d'une diminution de la circulation aqueuse. Si, lorsqu'on s'en aperçoit, la température n'est pas excessive, on rétablira cette circulation copieuse; mais si l'échauffement est trop grave, il vaudra mieux arrêter, par crainte des ruptures sous dilatations et contractions brusques de la fonte.

Ce défaut de circulation peut provenir d'incrustations calcaires, soit dans l'enveloppe, soit dans

les tuyaux voisins. Aussi doit-on recommander leur nettoyage de loin en loin avec solution d'acide chlorhydrique à 20 0/0, avec rinçage avant de remettre en route.

Echauffement du piston. — Cet accident peut provenir soit d'un défaut de graissage, soit de l'emploi d'une huile dont la qualité ne convient pas; d'où la nécessité de n'user que de lubrifiants appropriés, quel que soit leur prix. Il peut se faire aussi que le mal vienne du pivot d'attache de la bielle, ce qui obligerait à arrêter immédiatement pour rectification. Cet arrêt devient indispensable, quelle que soit la cause, car l'échauffement gagnerait vite le cylindre encore plus délicat.

Fumées au cylindre. — Deux causes possibles : l'excès de température qui fait évaporer l'huile, ou le passage anormal de gaz issus de l'explosion (par suite d'usure ou d'ovalisation du cylindre, usure ou rupture des segments). Quelle que soit la cause, il y a toujours surchauffe du cylindre, avec chute de compression et de force, à remédier au plus tôt, même si le mal provenait simplement de l'encrassement des segments qui ne joueraient plus, collés dans leurs rainures.

Graissage défectueux. — Il peut être soit insuffisant, soit trop abondant, même si l'huile est de très bonne qualité. Si le lubrifiant est mauvais, il faut le changer.

L'insuffisance de graissage peut venir du mauvais fonctionnement des graisseurs, surtout en

hiver, avec une huile peu fluide. Il faut alors la chauffer après avoir vérifié le dispositif de réglage et passé un fil de fer dans le petit conduit qui pourrait être obstrué (appareils neufs emballés avec des déchets de coton et autres particules introduits dans les orifices). Si le grand froid persistait, on remédierait à la congélation de l'huile en y ajoutant du pétrole ordinaire (10 à 20 0/0).

Quant à l'excès de graissage, il occasionne un supplément de dépense qui, à la longue, deviendrait considérable, en plus des projections huileuses et dissolvantes sur le moteur et dans l'ambiance. Inconvénient plus grave, l'excès d'huile peut s'accumuler dans le cylindre en y déterminant des cambouis qui, portés à l'incandescence, peuvent provoquer des allumages prématurés.

Résistances à l'échappement. — Les perturbations de ce fait ont généralement pour causes les obstructions par corps étrangers (particules de rouille, etc.) qui se détachent de l'intérieur des tuyaux, viennent s'accumuler et obstruer les conduites en un point quelconque. De leur côté, les produits brûlés traînent avec eux des huiles de graissage du cylindre à l'état pulvérulent; dans les changements de direction des conduites, ces déchets se déposent contre les parois et s'y carbonisent sous forme de cambouis résistants qui obstruent les sections et gênent l'échappement du fluide.

D'ailleurs, ces défauts seront révélés par une diminution de la puissance du moteur, avec surélé-

vation de la température des parties avoisinant l'orifice de sortie.

Arrêts intempestifs. — Les arrêts brusques des moteurs sont souvent occasionnés par des causes diverses de mauvais fonctionnement, parmi lesquelles nous citerons :

1° Echauffements excessifs pouvant bloquer un ou plusieurs organes actifs ;

2° Défauts d'allumage ;

3° Calage de l'une des soupapes, ayant pour conséquence de gêner soit l'aspiration, soit la composition du mélange ;

4° Desserrage ou même rupture d'un organe distributif ;

5° Affaiblissement du ressort de rappel de la soupape d'échappement qui s'ouvrirait alors sous l'effet de l'aspiration.

Ces causes indiquent d'elles-mêmes leurs remèdes respectifs.

D'autre part, avec une alimentation défectueuse, il faut distinguer l'origine des gaz : éclairage ou pauvre. Avec le gaz de ville, le mal peut provenir d'une des causes suivantes : mauvais fonctionnement du compteur ; poche d'eau formée dans une conduite ; calage de la soupape d'un antifluctuateur ; dérèglement d'un régulateur de pression, avec modification subite dans la tension du fluide. En outre, avec le gaz pauvre : brusques modifications dans la qualité, la quantité ou la température (à examiner de près).

Moteurs à essence

Nous résumerons les instructions de M. Bauchet, qui s'est particulièrement occupé de cette question.

A. Le moteur ne veut pas partir

1° *L'essence n'arrive pas.* — Probablement parce que le robinet n'est pas ouvert, ou que le tube est obstrué sur un point de son parcours, ou qu'on a oublié de dévisser le bouchon à air au-dessus du réservoir d'essence, ou enfin que ce dernier est vide. Pour voir si le tube est bouché, on dévisse les raccords à chacune de ses extrémités, on tourne le robinet et l'on souffle dans le tube. De plus, si l'on verse de l'essence dans le carburateur, après avoir retiré le couvercle et en soulevant le pointeur, le liquide doit s'écouler par le raccord.

2° *L'admission ou aspiration est obstruée.* — Le tube se trouve bouché (chiffon, dépôts, etc.), ou la toile métallique de l'entrée du carburateur est encrassée par la poussière collante, ou bien encore le clapet d'admission colle sur son siège. Démonter la soupape et décoller le clapet en appuyant sur sa tige ou en lui donnant quelques petits coups secs.

Pour voir si l'admission est obstruée, fermer avec les doigts l'orifice par lequel l'air arrive au carburateur, et, en tournant le volant du moteur, les doigts se sentiront attirés lors de l'admission.

3° *Excès d'essence.* — Le flotteur en laiton qui actionne le pointeau réglant l'arrivée d'essence, peut être percé ; il s'emplit de liquide et ne surnage plus, laissant ainsi le pointeau constamment ouvert. Une impureté sur le cône du pointeau peut de même provoquer le noyage du carburateur. En enlevant le flotteur et en l'agitant près de l'oreille, on se rend compte s'il contient du liquide ; dans le cas où il ne serait point percé, on roderait légèrement le pointeau sur son siège.

Malgré le noyage du carburateur, on peut essayer de partir en fermant le robinet d'essence et en tournant plusieurs tours de manivelle, pour que le moteur aspire le surcroît d'essence. Après le lancement, entr'ouvrir le robinet d'essence.

4° *Défaut d'allumage.* — Les accumulateurs peuvent se trouver déchargés, ou les fils desserrés, encrassés, cassés, etc.

D'autre part, l'allumage existant, il peut ne pas y avoir d'étincelle à la bougie ; ce qu'on vérifiera en démontant cette dernière, en attachant le fil à sa place habituelle et mettant le corps fileté en contact avec la masse métallique du moteur (pour plus de certitude, l'attacher avec un fil de fer). Bien faire attention qu'il n'y ait pas de contact entre la masse et la tête isolée où se fixe le fil. A ce moment, si l'on fait vibrer le trembleur, on doit voir jaillir une étincelle entre les deux pointes de la bougie (cet intervalle doit être un peu inférieur à 1 millimètre).

Pendant cette vérification, observer également s'il se produit un allumage « hors temps ». Régulièrement, l'allumage ne doit avoir lieu qu'une seule fois, tous les deux tours de volant ; s'il y a plusieurs allumages, c'est que les contacts se font en dehors du moment où la came d'allumage touche le balai.

Avec l'allumage par magnéto, en faisant osciller le volant comme pour la vérification (mise en marche) ou en tournant vivement la manivelle, l'étincelle doit jaillir de la bougie. Avec une magnéto qui tourne à la vitesse de l'arbre vilebrequin, dans les monocylindres, on doit avoir une étincelle par tour, une au bon moment et l'autre à la fin de l'échappement.

Pour s'assurer que le défaut provient bien de la bougie, on détache son fil conducteur, puis on l'approche à un millimètre environ de la masse du moteur, et l'on fait osciller le volant au moment voulu, ou l'on tourne vivement la manivelle. Si la magnéto fonctionne bien, on doit voir l'étincelle entre le fil et la masse ; en cas d'absence, c'est que la bougie est mauvaise, ou encrassée, à moins qu'on n'éprouve une absence de courant.

Avec l'allumage par bobine, le courant peut se perdre, si cette bobine est humide ou si la borne-bougie touche un corps bon conducteur. Avec la magnéto, cette perte peut avoir lieu si la borne isolante d'où part le fil est cassée ou fendue, ou encore si la magnéto est humide. De son côté, le

fil peut toucher du métal en un point d'où son isolant est parti; il peut être brûlé, etc.

5° *Absence de compression.* — Quand on tourne le volant à la main, le robinet de compression étant fermé, on doit sentir, tous les deux tours, une résistance élastique qui est celle de la compression; dans le cas contraire, c'est qu'une soupape ne ferme pas, par suite de rupture, déformation, brûlure ou interposition de corps étranger entre le clapet et son siège. Il faut alors démonter les soupapes; si elles semblent en bon état, on refera leur rodage, notamment à l'échappement. La soupape peut avoir encore la tige collée dans son guide encrassé, ce qui gêne sa retombée; son ressort peut aussi être moins puissant, insuffisant.

Règle générale : dès qu'un moteur manque de compression, il faut examiner si sa soupape d'échappement retombe franchement et rapidement sur son siège, si le régulateur n'est point bloqué et ne gêne pas la descente complète de la soupape (quand cette dernière est à son point le plus bas, il doit rester environ un demi-millimètre de jeu entre sa queue et le poussoir).

Une bougie en mauvais état peut laisser perdre la compression. Le joint de la soupape est quelquefois abîmé, si on l'a serré négligemment, sans avoir bien nettoyé son portage.

Une autre cause contraire à la compression, c'est le manque d'huile; introduire alors une cuillerée d'huile dans le cylindre par le robinet de

compression ou par le trou de la bougie enlevée. Par ailleurs, les segments peuvent être collés; on essaiera de faire couler un peu d'huile chaude dans le cylindre, par la soupape d'admission retirée.

Quand il fait très froid, le moteur part mal. On mettra quelques gouttes d'essence par le robinet de compression, et on fera le lancement. S'il ne part pas, on versera une petite cuillerée d'essence dans l'espace circulaire qu'on voit autour du coude de la soupape d'admission et on l'enflammera avec une allumette; une fois le tuyau réchauffé, le départ aura lieu.

On peut de même remplir d'eau chaude l'enveloppe de circulation. A cet effet, on n'ouvrira pas immédiatement le robinet de communication du bassin d'eau au cylindre; mais on prendra un tube en caoutchouc d'environ 50 centimètres, qu'on emmanchera sur un entonnoir et dont on raccordera l'autre extrémité au robinet de vidange d'eau du cylindre. Ouvrir alors ce robinet, puis verser de l'eau chaude par l'entonnoir tenu un peu plus élevé que le dessus du cylindre; puis fermer le robinet de vidange et mettre en route, en ouvrant la circulation d'eau.

B. Le moteur s'arrête

Vérifier d'abord les causes possibles déjà citées pour non-départ.

1° *Défaut d'essence.* — Le trou du gicleur est

parfois obstrué d'impuretés; le démonter avec sa clef, puis le déboucher avec une aiguille, souffler dedans et l'essuyer à l'intérieur. Par grand froid, le carburateur peut semblablement être obstrué de givre, autour du gicleur. Réchauffer jusqu'à satisfaction.

2° *Pas d'allumage ni d'étincelle à la bougie.* — Avec un allumage par pile ou accu et bobine, si l'accumulateur est déchargé, l'allumage peut être nul ou trop faible. Ou encore, même si la charge est suffisante, le trembleur de la bobine peut ne plus vibrer, si un fil se trouve desserré, un contact encrassé ou une lame de trembleur cassée. Ce trembleur peut encore être dérégulé, ce que l'on contrôle en faisant varier la vis de réglage. Enfin, l'usure des contacts de la came et du balai, ou l'affaiblissement du ressort de balai diminuent la puissance du moteur et occasionnent parfois son arrêt.

Avec un allumage par magnéto, la bougie peut également se trouver encrassée ou pleine d'huile; ses pointes étant trop ou pas assez serrées. Les isolants de la magnéto sont quelquefois fendus ou pleins d'huile; ou le balai flotteur est usé, tandis que la poussière de charbon gêne l'isolement; les platines du rupteur encrassées.

3° *Grippage du cylindre.* — Cet accident suit de près un manque d'huile. Il faut alors en introduire par le robinet de compression, tout en tournant le volant de plusieurs tours.

4° *Mauvaise circulation d'eau.* — Un tuyau peut être obstrué par quelque impureté, telles que bouchon, dépôt, etc. (à retirer); la fontaine est parfois fermée, ou bien l'eau reste à la même température en bas comme en haut (la changer).

L'échappement peut aussi être bouché, notamment par de la suie grasse dans les trous intérieurs du pot, à la suite d'un excès d'essence (niveau ou gicleur trop élevés, entrée d'air obstruée). Cet excès d'essence est ordinairement révélé par une fumée noire et puante qui sort de l'échappement.

C. Symptômes divers

Certains symptômes permettent de reconnaître les causes d'un arrêt intempestif. Une de celles-ci est le manque d'essence, quand un moteur stoppe après quelques explosions semblant venir de la tuyauterie d'admission ou de celle du carburateur. Et un arrêt brusque sans explosion ni hésitation préalable accuse une absence complète d'allumage.

Quelquefois, un moteur tout neuf se met en route, puis s'arrête au bout de quelques minutes. Si on noie le carburateur, il repart et s'arrête de nouveau. Il faut le remettre en marche, et, dès qu'il ralentit comme pour stopper encore, on noie vivement le carburateur; si la vitesse reprend, c'est une preuve que le gicleur est insuffisant (à remplacer). Le givre autour du gicleur a un incon vénient semblable.

Un moteur surchargé diminue soudain d'allure

et stoppe. Si, en le remettant en marche, il recommence à ralentir après quelques minutes ou un quart d'heure, c'est qu'il manque de lubrifiant ou de circulation; on mettra une cuillerée d'huile dans le cylindre par le robinet de compression ou par la soupape, tout en vérifiant la circulation d'eau.

Avec une compression et un allumage excellents, un moteur se met à baisser en force. Voir aussitôt s'il n'existe pas trop de jeu entre le poussoir et la queue de la soupape, auquel cas cette dernière ne se lèverait plus assez. Si la marche avait lieu avec le robinet ouvert qui, fermé, occasionnerait un ralentissement, cela indiquerait un excès d'essence; défectuosité soulignée par une fumée noire à l'échappement. Même remarque, quand la porcelaine intérieure de la bougie se couvre de suie noire et huileuse : essence à diminuer, toujours,

IV. ESSAIS

Nous terminerons par les essais des moteurs, sans négliger les renseignements fournis par les précédents auteurs à la suite de leurs expériences personnelles ou autres.

Essais de puissance et de consommation

Les éléments nécessaires sont au nombre d'une quinzaine, d'après M. Witz :

- 1° Diamètre du cylindre moteur ;
- 2° Course du piston ;

- 3° Longueur de la chambre de combustion, ou volume de l'espace mort ;
- 4° Nombre de tours par minute ;
- 5° Nombre d'explosions par minute ;
- 6° Température de l'air extérieur ;
- 7° Température de l'eau du compteur à gaz ;
- 8° Température des gaz à la décharge ;
- 9° Température de l'eau de circulation à l'entrée de l'enveloppe ;
- 10° Température de la même à la sortie ;
- 11° Pression atmosphérique ;
- 12° Consommation de gaz ;
- 13° Consommation d'eau ;
- 14° Consommation d'huile ;
- 15° Consommation de graisse.

Toutes précisions faites : en marche à vide, à demi-charge, à pleine charge, et avec surcharge de 10 ou 15 0/0.

Comme auxiliaires, un compteur est indispensable pour connaître exactement le nombre total de tours faits pendant l'expérience ; on l'actionne soit directement sur l'arbre de couche, soit par renvoi avec la tige du piston. Ce nombre de tours doit évidemment être doublé, quand on l'obtient sur l'arbre de distribution d'un moteur à quatre temps.

Pour la température il faut se servir, non pas d'un thermomètre ordinaire qui donne surtout la température du mur contre lequel on l'accroche, mais bien d'un thermomètre fronde, portant une boucle par où l'on passe une ficelle qui sert à le

faire tourner dans l'atmosphère ambiante. De son côté, la température de l'eau est facile à évaluer, mais moins celle des gaz d'échappement. On doit ici employer soit des pyromètres spéciaux, soit des baguettes de plomb, bismuth, antimoine ou autres métaux dont la température de fusion est comprise entre 200 et 500 degrés.

M. Witz dit qu'il s'est servi du pyromètre calorimétrique Salleron, dont il n'a eu qu'à se féliciter. Cet appareil comporte un calorimètre soigneusement isolé sous une épaisse enveloppe de feutre, et dans lequel on introduit un poids connu d'eau, toujours le même, dont la température est donnée par un thermomètre de précision. Un petit cylindre en cuivre, platine ou argent ayant été maintenu un bon quart d'heure dans un tube fermé qu'on engage dans le tuyau d'échappement du moteur, on l'en retire vivement pour le plonger aussitôt dans l'eau du calorimètre dont la température s'élève de t à T degrés. La quantité de chaleur apportée au calorimètre est fonction, d'une part de la différence de température notée, d'autre part de la température x prise par le cylindre d'essai. Pour une masse de cuivre pesant 257 grammes et un demi-litre d'eau distillée, on peut écrire la relation élémentaire :

$$x = 100 (T - t) + T = 100 T - 100 t + T = 101 T - 100 t;$$

soit finalement une simple soustraction après deux multiplications.

Le gaz consommé doit, par ailleurs, être exactement mesuré par un compteur très précis, l'un et l'autre contrôlés et proportionnés à la dépense approximative du moteur (car un compteur surchargé marque moins que la valeur réelle). De plus, les deux appareils ne doivent pas être trop éloignés l'un de l'autre, même si l'on ne craint aucune fuite dans la canalisation; et une bonne précaution consiste à intercaler une poche en caoutchouc sur le trajet du compteur au moteur.

Essais de vitesse et de régularité

Le manque de régularité des moteurs à gaz fut un des principaux obstacles que rencontra leur diffusion, surtout pour les appareils à quatre temps; d'autant plus que le fonctionnement régulier passe avant d'autres considérations dans beaucoup de cas.

Deux éléments sont à considérer dans la régularité de tout moteur examiné: il faut d'abord que sa vitesse moyenne (nombre de tours par minute) demeure invariable, quel que soit le travail développé, c'est-à-dire qu'un moteur de 30 chevaux par exemple devrait toujours donner le même nombre de révolutions unitaires, qu'il marche à vide ou sous une charge de 5, 10, 20, 30 chevaux, perfection difficile à réaliser strictement, mais pour laquelle on peut tolérer une marge de 2 à 3 0/0, pas davantage, même pour une brusque décharge du maximum à zéro. D'où la nécessité d'avoir de très

bons appareils de réglage. Quant aux variations de vitesse, on les observe avec des tachymètres ou autres compteurs automatiques.

Vérification des éléments organiques de l'installation

Comme son aîné M. Witz, l'excellent ingénieur spécialiste qu'est M. Mathot donne d'amples développements sur la question des essais. Pour la vérification qu'il préconise, il recommande d'abord de noter les éléments du moteur : position axiale du ou des cylindres, nombre de cylindres et d'effets; nombre de volants et de paliers; nature du cycle, mode de distribution et d'allumage.

Le mode d'alimentation doit être également décrit, avec la nature du combustible, soit naturel, soit artificiel : gaz de ville avec système de compteur, pertes probables par la canalisation, etc. Si on se sert de gaz pauvre, il faudra décrire les appareils qui le procurent (production, lavage et épuration) avec tous détails sur les conduites et autres auxiliaires. Indications également précises s'il s'agit de pétroles, benzines ou essences variées.

Mesure de la puissance effective

C'est la puissance qui correspond au travail réellement disponible sur l'arbre du moteur. Pour l'évaluer on peut se servir, soit de la dynamo que le moteur actionne parfois (mais à condition que le travail électrique soit supérieur au mécanique

cherché), soit du frein de Prony ou autre dispositif similaire.

Pour les moteurs de faible puissance, on fera usage d'un *frein à corde* (fig. 130) qu'on obtient en enroulant sur le volant ou autre poulie une corde assez solide qu'on maintient raidie par un

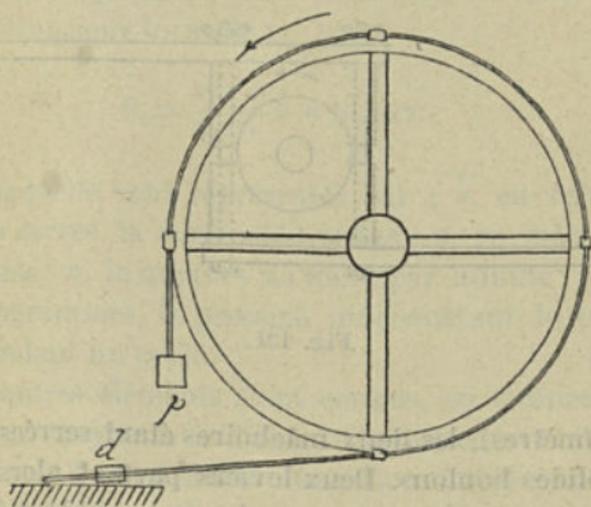


Fig. 130.

pois p tandis que son autre bout tire sur un dynamomètre d qui donne en marche la force cherchée. Le volant doit tourner dans le sens de la flèche et sa corde (ou une sangle) est maintenue sur plusieurs points de la jante par des guides en bois.

Pour les autres moteurs, en général de toutes puissances, on a recours au *frein de Prony*

(fig. 131) dont la précision est également indiscutée. Fait de deux mâchoires en bois complétées de fers à U, il s'emboîte sur une poulie serrée en un point accessible de l'arbre de couche, en interposant des cales de frottement (le mètre carré unitaire de surface portante pouvant absorber jusqu'à 20 000 kilo-

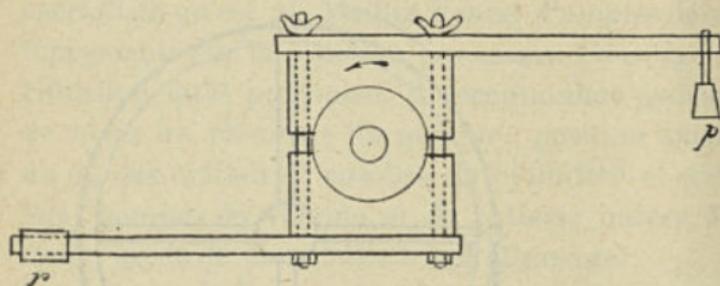


Fig. 131.

grammètres), les deux mâchoires étant serrées par de solides boulons. Deux leviers partent alors du bloc central : à gauche pour le contrepoids d'équilibre ou résistance r ; à droite pour le poids de pesée ou puissance p .

Le travail effectif est alors donné par la formule :

$$T_e = 0,00139 \times l \times n \times p,$$

dans laquelle représentent : l , la longueur du bras de levier du frein de Prony (ou le rayon du volant du frein à corde) ; n , le nombre de tours par minute de l'arbre ; p , en kilogrammes, la charge du frein.

Mesure de la puissance indiquée

Cette autre puissance s'évalue non pas en chevaux-*vapeur*, comme on persiste à dire improprement (ce fluide n'ayant rien à voir ici), mais en chevaux-*dynamiques* (expression que nous continuons de proposer au nom de la simple logique). On obtient pour formule :

$$P_i = \frac{s \times c}{9000} \times n \times p_m;$$

dans laquelle sont représentés par : s , en centimètres carrés, la surface du piston ; c , en mètres, la course ; n , le nombre de tours par minute ; p_m , en kilogrammes, la pression moyenne sur le piston pendant un cycle.

Les autres éléments étant connus, on mesure la pression moyenne à l'aide d'indicateurs à diagrammes. Dérivé d'une invention de Watt, un indicateur (fig. 132) se compose d'un petit cylindre c dans lequel se meut un piston p appuyé par un ressort, tandis qu'en dessous vient agir le fluide ; et son mouvement se transmet de sa tige t au levier l dont l'extrémité mobile reçoit un crayon susceptible de tracer des lignes sur une feuille de papier.

On obtient ainsi les diagrammes à analyser. Le premier (fig. 133) est celui de l'explosion ou combustion, figure sur laquelle on mesure métriquement la puissance moyenne ci-dessus. Le

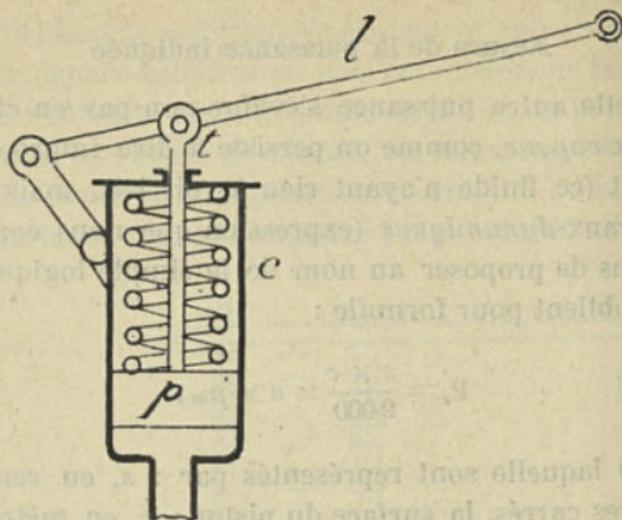


Fig. 132.

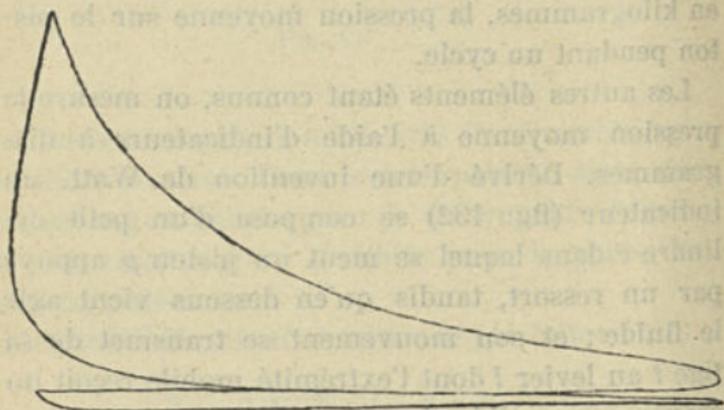


Fig. 133.

deuxième diagramme (fig. 134) montre la période de compression normale; avec variante (fig. 135) si le cylindre n'est pas très étanche. Enfin, les dia-

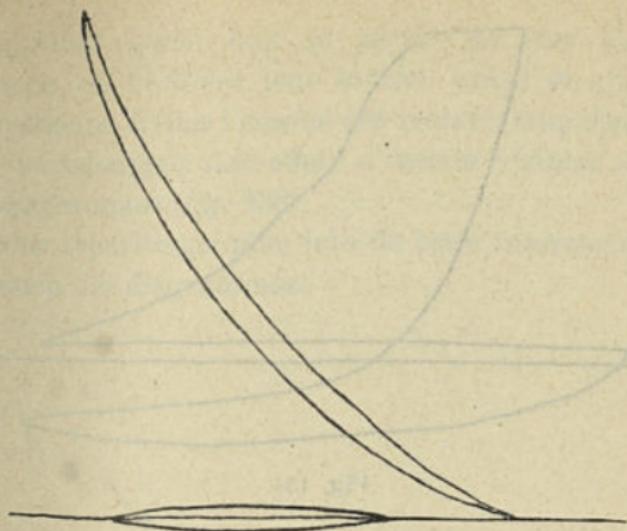


Fig. 134.

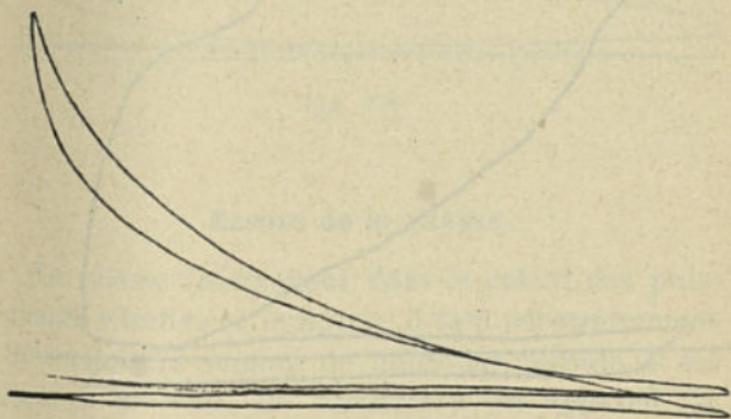


Fig. 135.

grammes suivants interprètent les résistances à l'aspiration et à l'échappement : l'un (fig. 136)

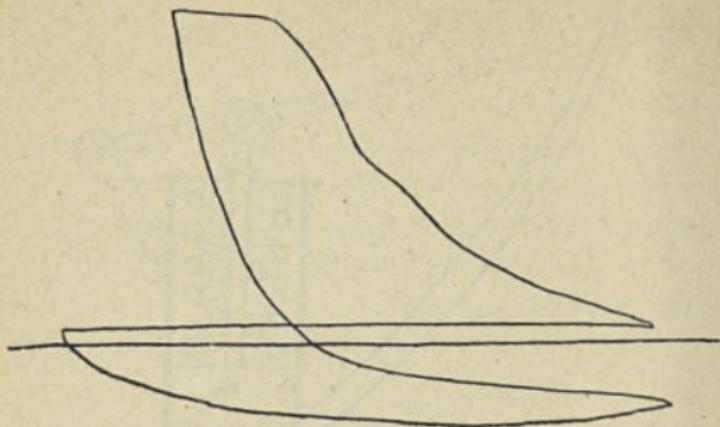


Fig. 135.

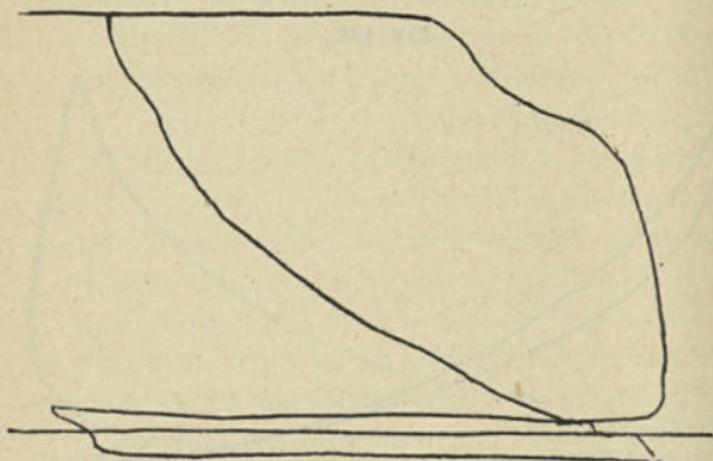


Fig. 137.

pour la résistance à l'aspiration dans le vide ;
l'autre (fig. 137) pour la résistance à l'aspiration
en charge.

Ajoutons qu'on doit se servir de très bons ressorts, en vérifiant leur tarage, avant et après l'expérience. Eviter l'emploi des ressorts trop légers qui occasionnent des effets d'inertie visibles sur les diagrammes (fig. 138).

Nous reparlerons plus loin de cette intéressante question des diagrammes.

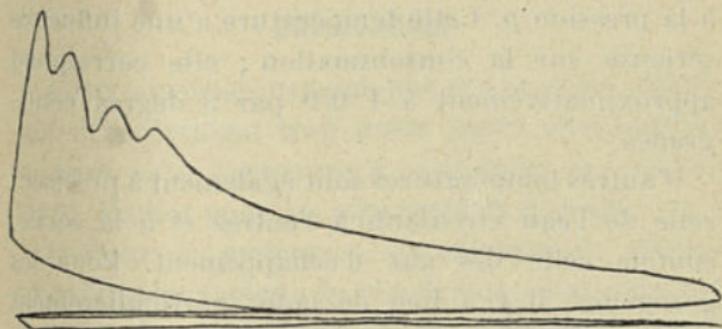


Fig. 138.

Mesure de la vitesse

La vitesse intervenant dans le calcul des puissances effective et indiquée, il faut nécessairement déterminer le nombre de tours par minute. Il est bon, à cet effet, de recourir à un appareil de précision, un chronomètre par exemple, qui marque les secondes. De plus, il semble très utile d'installer un compteur totalisateur qui facilitera l'établissement d'une vitesse moyenne au cours d'une période déterminée.

Mesure des températures

Les températures doivent à leur tour être relevées pour vérifier la consommation de combustible. Si le moteur est alimenté au gaz de ville, par exemple, il faudra ramener à la base usuelle (0 degré centigrade et 760 millimètres de mercure) la quantité de gaz, mesurée à la température t et à la pression p . Cette température a une influence sérieuse sur la consommation ; elle correspond approximativement à 1 0/0 par 3 degrés centigrades.

D'autres températures sont également à préciser : celle de l'eau circulante à l'entrée et à la sortie, comme celle des gaz d'échappement. Pour les gazogènes, il y a lieu de noter particulièrement les températures des gaz à la sortie du générateur, à l'entrée et à la sortie des scrubbers, et autres analogues.

Mesure des consommations

On a également besoin de connaître les consommations en combustible, huile et eau, toutes quantités à noter avec précision.

Analyse des résidus

On entend par résidus, les cendres pour le gazogène et les gaz d'échappement pour le moteur.

Les cendres seront retirées du cendrier à la fin

de l'essai, ce cendrier étant vide quand on a commencé. Puis on les pèse, bien que le poids constaté soit sujet à modification, s'il y a eu des morceaux de charbon entraînés.

L'analyse des gaz est également très utile pour contrôler la combustion dans le moteur. Mais cela regarde plutôt le chimiste ou l'ingénieur spécialiste.

Observations

Aussi n'insisterons-nous pas sur ce sujet, détails qui déborderaient trop notre cadre élémentaire ; et nous nous bornerons à reproduire les conseils de M. Mathot pour les observations à noter.

1° *Pour le moteur.* — Variations de vitesse, avec fonctionnement du régulateur ; état d'échauffement des coussinets et des diverses parties frottantes ; explosions intempestives, irrégulières, anticipées ou prématurées ; modifications du réglage.

2° *Pour le gaz.* — Variations de pression, de température, de richesse et de composition chimique.

3° *Pour le gazogène.* — Période de chargement ; importance et intervalles des charges et des décrassages ; influence de ces manœuvres sur la nature du gaz et sur la marche du moteur.

4° *Pour les locaux de l'installation.* — Température moyenne ; pression atmosphérique ; état de l'atmosphère ; propreté générale.

Diagrammes

Un constructeur spécialiste très connu, M. Letombe, a fait dans la *Technique moderne* une intéressante étude sur les diagrammes, que nous allons finalement rappeler pour nos lecteurs.

Quand il s'agit d'un moteur à quatre temps, le diagramme représente, par deux tours de manivelle, une courbe fermée faite de deux boucles aux surfaces très inégales.

Avec un moteur à soupapes d'admission automatiques observant le cycle Beau de Rochas, on obtient un diagramme très net (fig. 139). Sur l'axe des x correspond la course du piston, et sur l'axe des y les pressions successives du cylindre. Après être arrivé en haut de sa course, le piston va vers le bas et appelle derrière lui une dépression qui fera vite ouvrir la soupape d'admission. Ainsi, la pression décroît, et jusqu'à l'atmosphérique $a t$ (période d'aspiration). Après quoi le piston retourne sur lui-même, comprime le gaz ; la courbe s'élève alors, et le point b marque la tension de compression : l'étincelle jaillit aussitôt, le mélange s'enflamme, le piston bondit (période d'explosion $b c$), puis continue sa course (période de détente $c d$). Enfin l'organe revient sur lui-même, mais la pression demeure supérieure à l'atmosphérique, de d en a . Et ainsi de suite.

La superficie de la plus grande boucle est proportionnelle au travail positif du moteur,

tandis que la plus petite se rapporte au travail négatif (aspiration des gaz frais et échappement des gaz brûlés). Ce travail contraire est généralement faible dans les machines bien construites,

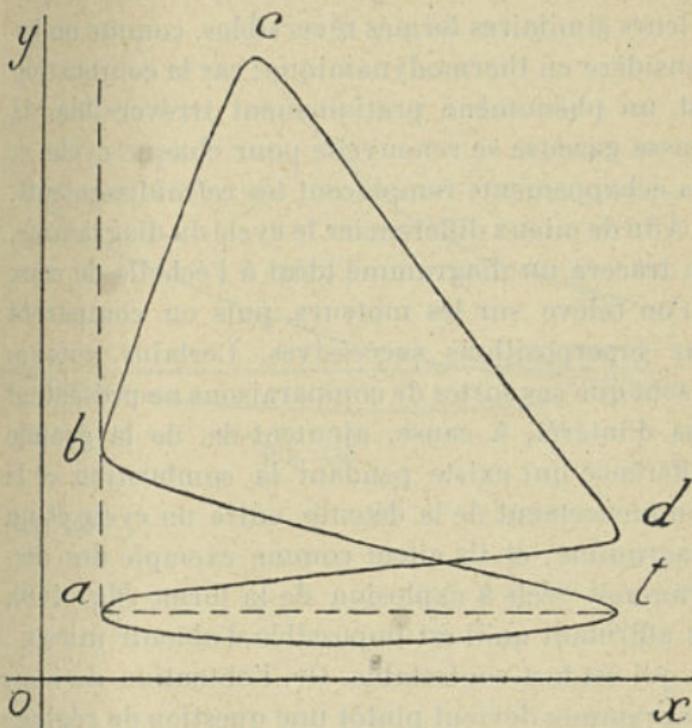


Fig. 139.

et l'on peut admettre que les aspirations ainsi que les échappements s'opèrent à la pression atmosphérique; et le travail positif ou indiqué représente la force développée sur les pistons, abstraction faite des résistances passives.

Les mêmes diagrammes ne servent point qu'à évaluer le travail moteur ; ils permettent encore de représenter les cycles des variations de pression et de volume des gaz qui évoluent dans les cylindres. *A priori*, ces cycles ne paraissent pas assimilables à leurs similaires fermés réversibles, comme on les considère en thermodynamique ; car la combustion est un phénomène pratiquement irréversible, la masse gazeuse se renouvelle pour chaque cycle, et les échappements remplacent les refroidissements.

Afin de mieux différencier le cycle du diagramme, on tracera un diagramme idéal à l'échelle de ceux qu'on relève sur les moteurs, puis on comparera par superpositions successives. Certains auteurs disent que ces sortes de comparaisons ne présentent pas d'intérêt, à cause, ajoutent-ils, de la grande différence qui existe pendant la combustion et le commencement de la détente, entre un cycle et un diagramme ; et ils citent comme exemple des diagrammes réels à explosion de la forme (fig. 140), en affirmant qu'il est impossible d'obtenir mieux : ce qui est fort contestable. Or, l'obtention de bons diagrammes devient plutôt une question de réglage de la distribution et de l'allumage.

Nous reproduisons d'après l'auteur un de ces diagrammes (fig. 141) où la pression explosive atteint jusqu'à 46 kg. 500 par centimètre carré. Les suivants (fig. 142) furent relevés sur un moteur Letombe de 1 000 chevaux.

Bien que les pointes très effilées soient théori-

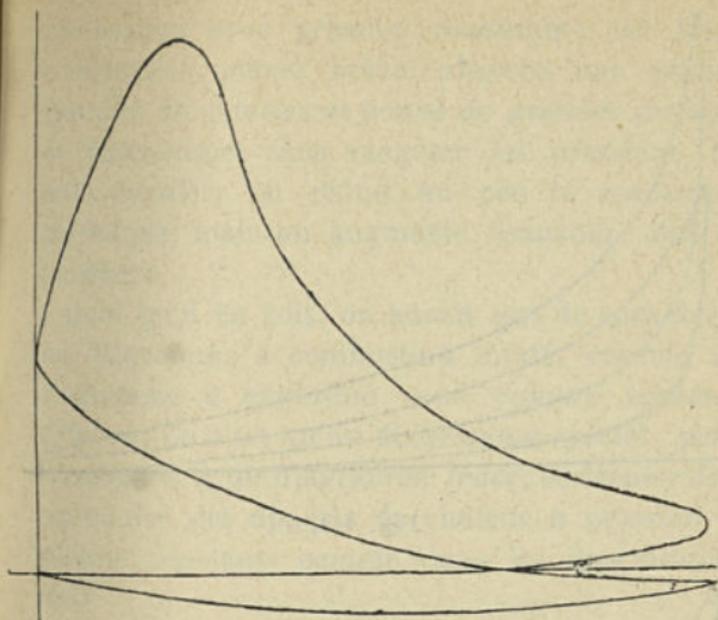


Fig. 140.

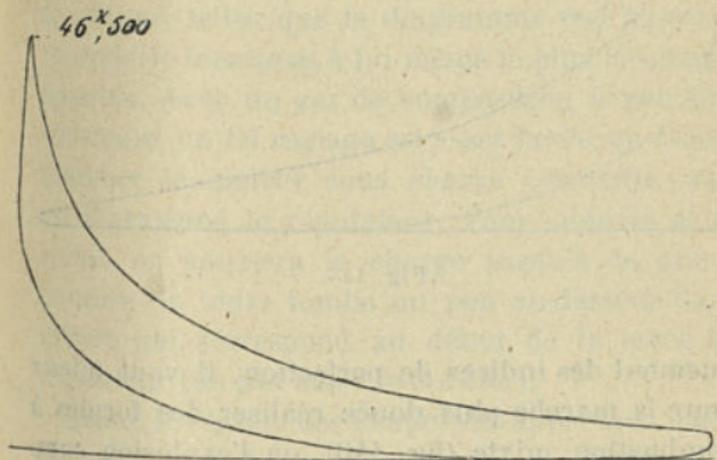


Fig. 141.

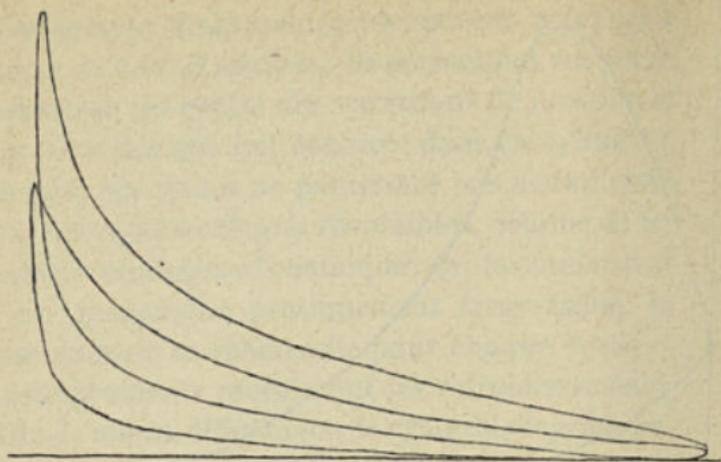


Fig. 142.

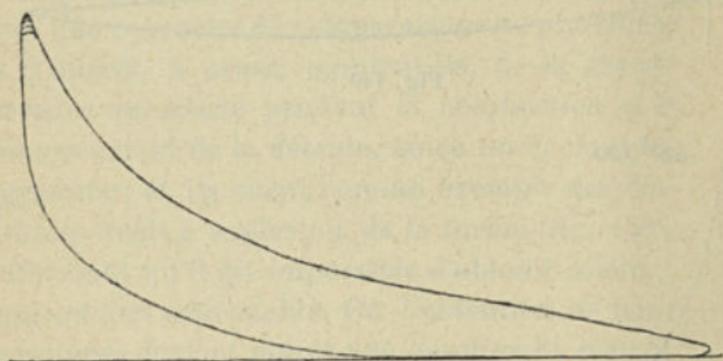


Fig. 143.

quement des indices de perfection, il vaut mieux pour la marche plus douce réaliser des formes à combustion mixte (fig. 143), où l'explosion commence à volume constant pour se terminer avec

combustion sous pression constante ; car toute combustion, même brève, absorbe une grande quantité de calories et donne de grandes surfaces de diagrammes sans exagérer les pressions. De cette manière on réduit un peu le rendement thermique, mais on augmente beaucoup plus la puissance.

Quoi qu'il en soit, on aurait tort de considérer un diagramme à combustion mixte, comme un diagramme à explosion sous volume constant *déformé*. Ce n'est qu'un diagramme spécial ; pour le comparer à un diagramme *tracé*, ce dernier doit reproduire des apports de chaleur à pression et volume constants comme dans les diagrammes réels.

Si l'on veut comparer utilement un diagramme réel à un autre tracé, on doit se placer dans des conditions telles que le diagramme réel puisse se reproduire identique à lui-même le plus longtemps possible. Avec un gaz de composition à peu près constante, un tel réglage est assez facile, en faisant marcher le moteur sous charge constante, sans qu'intervienne le régulateur. Pour obtenir ce résultat, on poussera la charge jusqu'à ce que le nombre de tours tombe un peu au-dessous de la vitesse qui correspond au début de la levée du régulateur (ne pas caler ce dernier).

Quand le régime des températures est bien établi et quand les mélanges tonnants ne recèlent qu'un faible excès d'oxygène, les tracés de diagrammes

se recouvrent avec une grande exactitude; des dizaines de tracés successifs, pris à quelques minutes d'intervalle chacun, montrent un trait unique de moins d'un demi-millimètre (c'est ce qu'on voit sur la précédente figure, série de diagrammes pris dans ces conditions sur le moteur à gaz pauvre de 1 000 chevaux déjà mentionné).

Les diagrammes tracés ne sont difficiles à obtenir que dans la limitation des lignes d'apport de chaleur et de compression; mais il faut connaître avec précision le nombre de calories par mètre cube (à 0 degré et 760^{mm}) ou par kilogramme de mélange tonnant contenu dans les cylindres, ainsi que le point où doit commencer la compression à compter de la pression atmosphérique. Quand on connaît la composition du gaz combustible, on détermine la proportion d'air utilisé dans la formation du mélange en analysant les gaz d'échappement, le dosage de l'oxygène trouvé dans ces gaz permettant d'évaluer l'excès d'air sur la quantité strictement utile pour avoir une combustion complète. Et le dosage des gaz combustibles dans la masse brûlée aide à tenir compte des non-combustions qui sont une cause sérieuse d'abaissement de la puissance calorifique des mélanges.

Quand on connaît la composition exacte des gaz évoluant, on déduit le rapport moyen $\frac{C}{c}$ des chaleurs spécifiques à pression et volume constants. Puis, le tracé des courbes de compression découle

de la connaissance précise des chambres de compression et du degré de remplissage des cylindres.

Quand on a obtenu ces diverses déterminations, si l'on prend soigneusement le pouvoir calorifique *utile* des mélanges pour calculer la *pression* qui résulte d'un apport de chaleur sous volume constant, on constate que les contours du nouveau diagramme tracé ne diffèrent presque pas de ceux des diagrammes réels de la deuxième forme. A peine note-t-on des arrondis à la place des angles vifs de la fin de la compression et du début de l'échappement, avec une pression d'explosion un peu moins forte que celle calculée. De leur côté, les courbes de détente chevauchent légèrement l'une sur l'autre, et les superficies des deux courbes demeurent équivalentes.

Cette importante constatation montre qu'en assimilant les cycles réels à des cycles fermés réversibles, dans le calcul du rendement thermique des machines, on ne s'exposera pas à de grosses erreurs. Ces conclusions peuvent surprendre ; mais (toujours d'après M. Letombe) si l'on y regarde de près, cette concordance entre cycles théoriques et réels provient de ce fait qu'ils ne diffèrent entre eux que par des phénomènes équivalents. Le phénomène de la combustion est incontestablement irréversible ; mais il est bon de remarquer que si cette combustion entraîne une élévation de pression à volume constant, on retrouvera l'état initial en retranchant la chaleur

apparue ; si l'on rendait encore cette chaleur aux gaz, on aurait le même résultat qu'avec une combustion nouvelle. On peut donc dire que la combustion et l'apport de chaleur ne sont pas des phénomènes réversibles très dissemblables.

D'autre part, la détente et la compression suivent de près les évolutions théoriques. Mais, grâce à la vitesse des gaz détendus, il n'y a pas à redouter un manque d'équilibre entre la poussée et le contre-effort du piston résistant. Reste l'objection du fonctionnement à cycle ouvert.

Pour mieux fixer les idées, considérons avec l'auteur un cycle à détente incomplète quoique prolongé, comme celui-ci (fig. 144). « En arrivant à fin de détente, explique-t-il, les gaz au lieu d'être simplement refroidis d'abord à volume constant (de *e* en *b*), puis à pression constante (de *b* en *a*), avant de subir une nouvelle compression (de *a* en *c*), sont simplement rejetés dans l'atmosphère. La pression tombe ainsi de *e* en *b* ; puis le volume diminue de *b* en *o*, et l'on aspire des gaz frais de *o* en *b*. Les parcours *a o* et *o a* produisant des travaux égaux et de signe contraire, ne sont pas à considérer. Il n'y a là qu'un artifice pour revenir plus facilement à un état initial : tout se passe comme si en *a* on avait simplement changé les gaz volume à volume.

» Remarquons que, pendant l'échappement, les parcours *e b* puis *b a* donnent, aux mêmes moments, les mêmes variations de volume et de

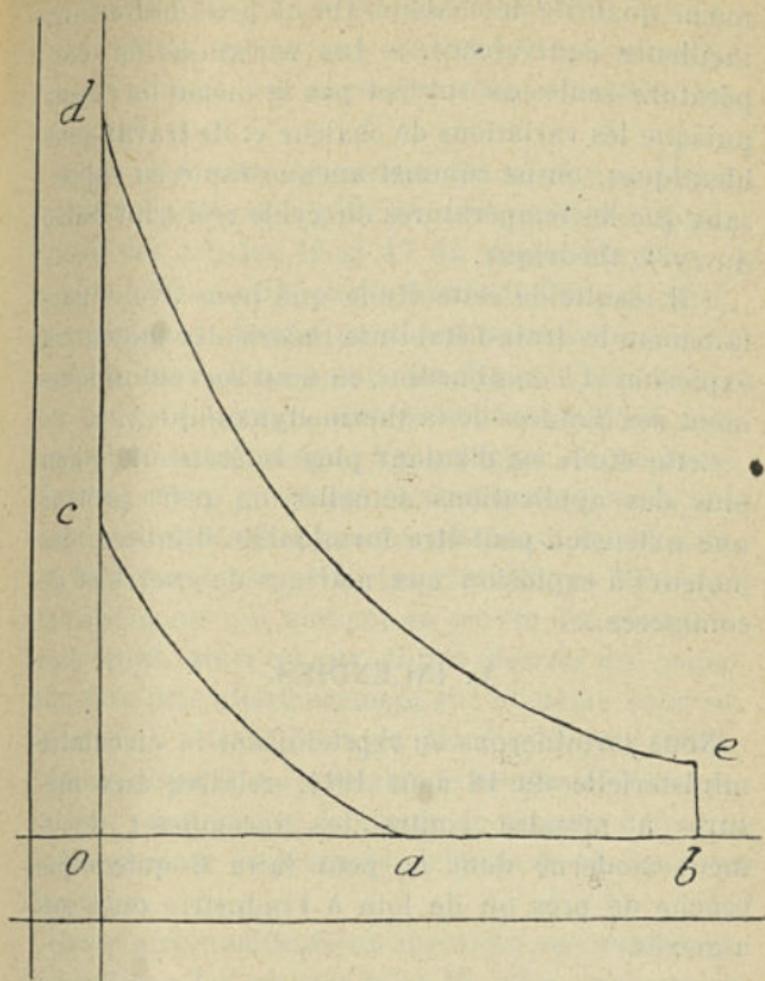


Fig. 144.

pression que le refroidissement théorique ; par conséquent, dans les deux cas, on obtient les mêmes travaux négatifs avec la disparition de la

20.

même quantité de chaleur. On ne peut désirer une meilleure équivalence. — Les variations de température seules ne suivent pas la même loi ; mais puisque les variations de chaleur et de travail sont identiques, on ne commet aucune faute en supposant que les températures du cycle réel sont celles du cycle théorique.

» Il résulte de cette étude que nous avons parfaitement le droit d'établir la théorie des moteurs à explosion et à combustion, en nous servant uniquement des données de la thermodynamique... ».

• Cette étude est d'autant plus intéressante qu'en plus des applications actuelles on peut prévoir une extension peut-être formidable, illimitée, des moteurs à explosion aux marines de guerre et de commerce...

V. INCENDIES

Nous terminerons en reproduisant la circulaire ministérielle du 18 août 1911, relative aux mesures à prendre contre les incendies ; document moderne dont ne peut faire fi quiconque touche de près ou de loin à l'industrie ou à ses annexes.

Le Ministre du Travail et de la Prévoyance sociale, à MM. les Inspecteurs divisionnaires du Travail, à MM. les Ingénieurs en chef des Mines.

J'ai l'honneur de vous faire parvenir ci-après le texte d'un décret, en date du 2 juin 1911, modifiant

les articles 16, 17 et 20 du décret du 29 novembre 1904, en ce qui concerne les mesures à prendre contre les incendies dans l'intérêt du personnel.

Ainsi que vous le verrez, le nouveau décret conserve l'ordre et la plus grande partie des dispositions des articles 16 et 17 du décret du 29 novembre 1904, modifié par le décret du 22 mars 1906. Les quelques dispositions nouvelles concernent surtout les établissements employant l'électricité soit pour l'éclairage, soit pour le chauffage, soit pour tout autre usage. En principe, le nouveau décret se réfère purement et simplement, en ce qui concerne ces établissements, au décret du 11 juillet 1907 sur la sécurité des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques, ainsi qu'aux autres décrets qui pourront être pris ultérieurement sur le même sujet en vertu de l'article 3 de la loi du 12 juin 1893. Comme disposition spéciale, le nouveau décret se borne à prescrire un éclairage de secours dans les établissements importants éclairés à la lumière électrique.

Quant aux modifications apportées aux anciennes dispositions des articles 16 et 17, elles ont surtout pour objet, soit de préciser le sens de ces dispositions, soit de donner une plus grande liberté aux chefs d'établissements dans le choix des moyens qui sont de nature à assurer de façon équivalente la protection de leur personnel contre les dangers

d'incendie. Voici, d'après les travaux préparatoires, l'objet des principales de ces modifications.

ART. 16, § *a* (*Sorties*). — L'ancien texte du décret posait en principe que les portes assurant la sortie sur des dégagements ou donnant accès à l'extérieur, devraient s'ouvrir de dedans en dehors, quelle que soit la nature des ateliers, magasins et bureaux où se trouvaient ces portes, et quel que soit le personnel qui y était employé. Or, la pratique a montré que, dans les ateliers, magasins ou bureaux qui ne contiennent qu'un petit nombre d'ouvriers et employés, le fait que la porte s'ouvre du dehors en dedans, ne saurait, en cas d'incendie, gêner la sortie de ces ouvriers et employés, lorsque le danger n'est pas immédiat, ce qui est le cas général. Aussi, d'après le nouveau décret, l'ouverture des portes de dedans en dehors n'est obligatoire que lorsque les ateliers, bureaux et magasins de dépôt contiennent plus de dix employés ou ouvriers y séjournant. Elle est obligatoire, quelle que soit l'importance du personnel, pour les magasins de vente. Dans ces magasins, en effet, en dehors des employés qui y sont occupés, il faut tenir compte des clients et autres personnes étrangères dont le nombre ne peut être déterminé. L'ouverture des portes de dedans en dehors est également obligatoire, quelle que soit l'importance du personnel, dans les ateliers, magasins et bureaux où sont manipulées des matières inflammables. Dans ces

établissements, en effet, les plus petites mesures de sécurité acquièrent une réelle valeur.

Pour les portes donnant accès à l'extérieur, leur ouverture de dedans en dehors n'était obligatoire, d'après l'ancien décret, que lorsque cette mesure aurait été jugée *nécessaire* à la sécurité. D'après le nouveau décret, il faut de même qu'elle ait été jugée *indispensable* à la sécurité ; mais il ajoute qu'en cas de différend, il est statué par décision du ministre du travail. Les inspecteurs, lorsqu'ils mettront un chef d'établissement en demeure de faire ouvrir de dedans en dehors les portes donnant accès à l'extérieur, devront donc mentionner expressément dans la mise en demeure qu'ils estiment cette mesure indispensable à la sécurité du personnel, et avertir en même temps le chef d'établissement du recours qui lui est ouvert. Si ce dernier estime que la mesure n'est pas indispensable, il pourra adresser sa réclamation soit à l'inspecteur du travail, soit directement au ministre. Dans le premier cas, l'inspecteur du travail transmettra la réclamation au ministre avec son avis.

L'ancien décret prescrivait que les portes donnant sur un couloir ou sur un escalier devaient être disposées de façon qu'une fois développées, elles ne fassent pas saillie sur ce dégagement. D'après le nouveau décret, les portes peuvent être en saillie, sur le mur, de leur épaisseur même. Il va sans dire que l'épaisseur de la porte comprend

celle des gonds qui peuvent faire saillie sur la porte elle-même.

Les modifications et additions apportées par le nouveau décret, au dernier alinéa du § *a* de l'article 16, complètent la réglementation spéciale aux ateliers, magasins et bureaux où sont manipulées des matières inflammables. C'est ainsi que, dans ces établissements, aucun poste de travail ne doit se trouver à plus de 10 mètres d'une sortie, ce qui veut dire, non qu'il doit y avoir une porte tous les 10 mètres, mais que chaque ouvrier ou employé ne doit pas avoir de son poste normal de travail à parcourir plus de 10 mètres pour atteindre une des sorties. Doivent être considérées comme sorties, non seulement les portes servant habituellement de passages, mais encore les sorties de secours indiquées comme telles par une inscription en caractères bien visibles. Ces dernières portes pourront être tenues normalement fermées, mais pendant les périodes de travail, elles devront « pouvoir s'ouvrir très facilement de l'intérieur ». Par ces expressions, il faut entendre que les ouvriers ou employés séjournant à l'intérieur de ces locaux doivent pouvoir eux-mêmes ouvrir très facilement ces portes de sortie. Cette condition ne serait pas remplie si, par exemple, les sorties de secours étaient fermées à clef pendant les heures de travail.

La même interprétation doit être donnée de l'expression identique employée par le nouveau décret, pour les grilles ou grillages qui garnissent parfois

les fenêtres dans les ateliers, magasins et bureaux où sont manipulées des matières inflammables.

ART. 16, § *b* (*Escaliers*). — L'ancien décret portait que les escaliers de bois desservant les locaux de travail, devaient être hourdés plein en plâtre. Le Comité consultatif des Arts et Manufactures avait émis l'avis, qu'avait adopté la lettre ministérielle du 15 novembre 1907, qu'une couche de plâtre d'au moins 3 centimètres et maintenue sur le bois au moyen de lattes et de clous à bateau, doit être considérée comme un hourdé plein. Le nouveau décret consacre cette interprétation. Il permet également de remplacer le plâtre par un revêtement d'une efficacité équivalente au point de vue de la protection de l'escalier contre le feu.

Les règles établies par le calcul de la largeur minimum des escaliers desservant les locaux de travail ne sont pas modifiées. L'ancien décret portait que les passages ménagés à l'intérieur des pièces, ainsi que les couloirs conduisant aux escaliers, devaient avoir les mêmes largeurs que ceux-ci. Le nouveau décret exige seulement que la largeur minimum de ces passages et couloirs soit déterminée d'après la règle établie pour les escaliers, c'est-à-dire que si ceux-ci ont une largeur supérieure à la largeur minimum, les passages et couloirs pourront n'avoir que cette largeur minimum.

ART. 17, § *a* (*Eclairage et chauffage*). — L'ancien texte du premier alinéa interdisait notamment

l'emploi, pour le chauffage et l'éclairage, de « liquides émettant des vapeurs inflammables au-dessous de 35°. Pour bien indiquer qu'il s'agit de la température d'émission des vapeurs et non de celle de l'inflammation de ces vapeurs, les mots « au-dessous de 35° » sont placés, dans le nouveau texte, après le mot « émettant ».

Il y a lieu de remarquer que l'emploi des liquides émettant au-dessous de 35° des vapeurs inflammables n'est interdit que pour l'éclairage et le chauffage des locaux; il s'ensuit que l'emploi de chalumeaux à essence pour le travail des métaux reste autorisé.

Le troisième alinéa nouveau autorise, pour l'amenée du gaz aux appareils d'éclairage et de chauffage, l'emploi de tuyaux qui ne soient ni métalliques, ni enveloppés de métal, à la condition qu'ils soient efficacement protégés par une matière incombustible. Il appartiendra aux inspecteurs d'apprécier dans chaque cas d'espèce si le revêtement incombustible protège efficacement les tuyaux contre des fuites pouvant provoquer des incendies ou des explosions.

L'ancien texte du cinquième alinéa exigeait que les appareils d'éclairage portatifs eussent une « base » stable et solide. On a exprimé la crainte que cette prescription ne parût exclure les appareils d'éclairage suspendus. Pour rendre impossible cette interprétation restrictive, le nouveau texte remplace le mot « base » par le mot « support ».

ART. 17, § *b* (*Consignes pour le cas d'incendie*).

— Le nouveau texte stipule expressément dans le premier alinéa que c'est exclusivement « dans l'intérêt du sauvetage du personnel » que des mesures sont imposées par le décret aux chefs d'établissement, pour combattre rapidement et efficacement tout commencement d'incendie. Sans doute, ces mesures peuvent servir en même temps à la conservation des immeubles où est occupé le personnel, ainsi que des objets mobiliers et des marchandises qui garnissent ces immeubles. Mais les prescriptions du décret ne s'étendent pas et ne sauraient légalement s'étendre aux mesures de conservation des locaux et du matériel auxquelles ne serait pas liée la sécurité du personnel.

L'ancien alinéa trois du paragraphe *b* portait que la consigne devait prescrire des *essais* périodiques destinés notamment à constater que le matériel d'extinction et de sauvetage est en bon état. Cette disposition a été critiquée : on a fait observer que l'essai de certains matériels d'extinction risquait d'occasionner des détériorations aux marchandises ou au matériel, ou de rendre inutilisable ce matériel : ce serait le cas notamment de certains extincteurs automatiques qui consistent dans une canalisation obturée de distance en distance par des bouchons fusibles garantis par les constructeurs. C'est pour tenir compte de cette observation que le nouveau décret porte « visites et essais périodiques » et non plus seulement « essais périodiques ».

Conducteur de moteurs.

21

ART. 20. — Le nouveau décret ajoute aux prescriptions dont il peut être accordé dispense par le ministre du travail, les prescriptions de l'article 16, § *a*, dernier alinéa, et de l'article 16, § *b*, avant-dernier alinéa. Ce dernier alinéa vise la largeur minimum des passages ménagés à l'intérieur des pièces et celle des couloirs conduisant aux escaliers. On a pensé qu'une tolérance pouvait être nécessaire dans les anciens établissements où l'élargissement des passages et couloirs qui n'auraient pas la largeur minimum exigée serait pratiquement impossible, mais sous la réserve habituelle que la sécurité des travailleurs est assurée dans des conditions au moins équivalentes à celles qui sont fixées par le décret.

Je vous adresse ci-joint un nombre suffisant d'exemplaires de la présente circulaire pour les fonctionnaires placés sous vos ordres.

Le Ministre du Travail et de la Prévoyance sociale.

FIN

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉFACE.	v

PREMIÈRE PARTIE

Moteurs à gaz

CHAPITRE PREMIER. — <i>Gaz</i>	1
I. Gaz mixtes ou pauvres.	1
II. Meilleurs gaz pauvres.	4
CHAPITRE II. — <i>Gazogènes</i>	10
I. Composition essentielle.	10
Cuve	10
II. Gazogènes sous pression	11
Souffleurs.	12
Ventilateurs.	13
Laveurs et épurateurs.	14
Epurateurs usuels.	16
Gazomètres.	17
III. Gazogènes par aspiration.	20
Avantages.	20
Système Riché.	22
Collecteurs de poussières.	30
Laveurs.	30
Epurateurs.	32
Sécheurs.	33
Tuyaux.	35
IV. Choix des gazogènes.	36

CHAPITRE III. — <i>Modes de fonctionnement des moteurs.</i>	39
I. Vapeur et gaz comparés.	39
Opinion de M. Witz.	39
Opinion de M. Letombe	41
Opinion de M. Haeder.	49
Puissance.	49
Frais d'exploitation.	51
II. Modes de fonctionnement.	53
Mode de travail.	53
CHAPITRE IV. — <i>Modes de distribution.</i>	58
I. Règles générales.	58
II. Cames et excentriques.	59
Cames.	59
Excentriques.	60
CHAPITRE V. — <i>Modes d'allumage.</i>	64
I. Inflammation et combustion	64
II. Dispositifs d'allumage	68
Transport de flamme.	68
Tube incandescent.	69
Étincelle électrique.	71
CHAPITRE VI. — <i>Pièces constitutives.</i>	74
I. Bâtis.	74
II. Paliers.	77
III. Cylindres.	78
IV. Pistons.	81
V. Arbre coudé.	82
VI. Régulateurs.	83
Volants.	84
Pendules.	89
VII. Graisseurs.	93
VIII. Lubrifiants.	95

CHAPITRE VII. — <i>Mises en marche</i>	97
I. Main sur volant	97
II. Manivelle à main	98
CHAPITRE VIII. — <i>Canalisations</i>	100
I. Tuyauteries d'eau	100
II. Tuyauteries de gaz	102
CHAPITRE IX. — <i>Turbines</i>	109
I. Turbines à gaz	109
Système Esnault-Pelterie	109
Système Armengaud	110
Système Sainte-Beuve	112
Système Hugo-Lentz	113
Système Parent	114
Système de Ferranti	114
II. Conférence appropriée	114
Opinion de M. Holzwaits	114
Opinion de M. Lemale	120
CHAPITRE X. — <i>Grands moteurs pour électricité</i>	126
I. Emploi des grands moteurs à gaz	126
Choix de l'emplacement	131
Type d'installation génératrice	133
Puissance des unités génératrices	134
Moteur simple tandem ou double tandem	135
II. Chaudières pour l'installation à vapeur	137
Gazogènes	137
Installation de récupération de sulfate d'ammoniaque	139
Manutention et emmagasinage du charbon	141
III. Bâtiments et fondations	142
IV. Installation d'excitation, de distribution, etc.	142
Frais de premier établissement	143
Marche de l'installation avec moteurs à gaz et gazogènes	145

V.	Frais d'exploitation.	148
	Pertes par combustion au repos.	149
	Facteur de correction.	150
	Huile, chiffons de nettoyage, etc.	153
	Eau.	154
	Personnel.	155
	Entretien et réparations.	156
	Dépréciation; intérêts et amortissement.	159
	Influence du prix du charbon et du facteur de charge.	161
VI.	Exemples d'installations.	164
	1 ^o Jamestown and Warren Street Railway (E.-U.).	164
	2 ^o Milwaukee Northern Railway (E.-U.).	166
	3 ^o Boston Elevated Railway (E.-U.).	167
	4 ^o Installations allemandes.	168
VII.	Analyse de la discussion.	171
	Généralités.	171
	Frais de premier établissement.	171
	Frais d'emplacement.	172
	Réfrigérants à cheminée.	173
	Dimensions des unités.	173
	Capacité de surcharge.	176
	Installation mixte, à vapeur et à gaz.	177
	Gazogènes.	177
	Récupération du sulfate d'ammoniaque.	180
	Installations auxiliaires.	183
	Sécurité de marche.	184
	Marche en parallèle.	186
	Rendements thermo-dynamiques.	187
	Pertes par combustion au repos.	189
	Pertes à vide.	190
	Prix du charbon.	191
	Batteries combinées avec moteurs à gaz.	193
	Chaudières chauffées au gaz.	194
	Réparations.	194
	Huile.	199

TABLE DES MATIÈRES

367

Eau	200
Intérêts et amortissement	200
Personnel	201

DEUXIÈME PARTIE

Moteurs à pétrole

CHAPITRE XI. — <i>Pétroles</i>	203
I. Composition	203
II. Utilisation du pétrole lampant	204
Emploi du pétrole lampant	205
Examen des diagrammes	206
Conséquences de l'emploi du pétrole lampant	208
CHAPITRE XII. — <i>Carburateurs</i>	211
I. Carburation	211
II. Type fondamental	211
CHAPITRE XIII. — <i>Allumage</i>	213
Régimes divers	213
CHAPITRE XIV. — <i>Moteurs</i>	218
I. Moteurs industriels	218
Types fondamentaux	222
II. Applications navales	225

TROISIÈME PARTIE

Moteurs divers

CHAPITRE XV. — <i>Moteurs à alcool</i>	228
I. Alcools	228
II. Moteurs	230
CHAPITRE XVI. — <i>Moteurs à eau</i>	233
I. Ecoulement des liquides	233
Orifices en mince paroi	233

Orifices à parois épaisses.	235
Orifices à ajutages.	239
II. Roues hydrauliques.	240
Roues en dessus.	240
Roues de côté.	242
Roues en dessous.	244
III. Turbines hydrauliques.	245
Turbines centrifuges.	246
Régulateurs de récepteurs hydrauliques.	247
CHAPITRE XVII. — <i>Moteurs à air.</i>	251
I. Air comprimé.	251
Avantages et inconvénients.	251
II. Compresseurs à basse pression.	252
III. Compresseurs à haute pression.	254
IV. Tuyauterie.	256
Assemblages en fonte.	258
Assemblages en fer.	260
Assemblages en caoutchouc.	262
Joints mobiles.	263
Boîtes de dilatation.	264
Tuyaux à double courbure.	265
V. Air atmosphérique.	266
Principe.	266
Travail mécanique.	266
CHAPITRE XVIII. — <i>Montage, conduite et essais des moteurs modernes.</i>	270
I. Montage.	270
Emplacements et fondations.	270
Trépidations et vibrations.	272
II. Conduite.	275
Gazogènes.	275
Combustibles.	275
Opinion résumée de M. Witz.	277
Opinion résumée de M. Mathot.	280
Moteurs à gaz.	289

TABLE DES MATIÈRES

369

Opinion résumée de M. Witz	289
Opinion résumée de M. Mathot	294
Moteurs à pétrole..	304
Moteurs à essence..	304
Opinion résumée de M. Bauchet.	304
III. Perturbations.	307
Moteurs à gaz.	307
Explications de M. Witz	307
Explications de M. Mathot	309
Moteurs à essence.	323
A. Le moteur ne veut pas partir	323
B. Le moteur s'arrête.	327
C. Symptômes divers.	329
IV. Essais.	330
Essais de puissance et de consommation.	330
Essais de vitesse et de régularité.	333
Vérification des éléments organiques de l'installation.	334
Mesure de la puissance effective.	334
Mesure de la puissance indiquée.	337
Mesure de la vitesse.	341
Mesure des températures.	342
Mesure des consommations.	342
Analyse des résidus.	342
Observations.	343
Diagrammes.	344
V. Incendies	354
Circulaire ministérielle du 18 août 1911.	354

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES

ENCYCLOPÉDIE RORET
L. MULO, LIBRAIRE-ÉDITEUR
PARIS, 12, rue Hautefeuille, PARIS (VI^e)

NOUVEAU MANUEL COMPLET
DE LA
CONSTRUCTION ET DU MONTAGE
DES
AUTOMOBILES

CONTENANT
L'historique — L'étude détaillée des pièces constituant
les automobiles — La construction des voitures
à pétrole, à vapeur et électriques
Les renseignements sur leur montage et leur conduite

PAR
N. CHRYSOCHOÏDÈS

Ingénieur des Arts et Manufactures,
Professeur à la Fédération générale française des Chauffeurs,
Mécaniciens, Electriciens.

*Ouvrage en deux volumes in-18 ornés de 340 figures
dans le texte*

Prix : 8 francs

ENVOI FRANCO CONTRE MANDAT-POSTE

ENCYCLOPÉDIE-RORET
L. MULO, LIBRAIRE-ÉDITEUR
PARIS, 12, rue Hautefeuille, PARIS (VI^e)

NOUVEAU MANUEL COMPLET
D'ÉLECTRICITÉ.

CONTENANT

Electricité statique. — Electricité dynamique. —
Distribution de l'énergie électrique. — Utili-
sations du courant électrique. — Producteurs
d'énergie électrique. — Traction électrique,
— Courants alternatifs. — Transport de
l'énergie électrique à grande distance. —
Applications diverses de l'électricité.

PAR

G. PETIT

Ingénieur civil

2 vol. in-18, ornés de 285 figures dans le texte

PRIX : 8 FRANCS

ENVOI FRANCO CONTRE MANDAT-POSTE

ENCYCLOPÉDIE-RORET
L. MULO, LIBRAIRE-ÉDITEUR

PARIS, 12, Rue Hautefeuille, PARIS (VI^e)

NOUVEAU MANUEL COMPLET
DE
L'AJUSTEUR-MÉCANICIEN
APPRENTI, OUVRIER, CONTREMAÎTRE

Par Paul BLANCARNOUX

Ingénieur des Arts et Métiers

2 vol. in-18, ornés de 230 figures dans le texte. 6 fr.

NOUVEAU MANUEL COMPLET
DU
CONDUCTEUR
DE
CHAUDIÈRES A VAPEUR

CONTENANT

la Description, la Conduite, l'Entretien, les Accidents
des Chaudières

Par Paul BLANCARNOUX

Ingénieur des Arts et Métiers

1 vol. in-18, orné de 110 figures dans le texte. 3 fr.

ENVOI FRANCO CONTRE MANDAT-POSTE



ENCYCLOPÉDIE-RORET
COLLECTION
DES
MANUELS-RORET

FORMANT UNE

ENCYCLOPÉDIE DES SCIENCES ET DES ARTS

FORMAT IN-18

Par une réunion de Savants et d'Industriels

Tous les Traités se vendent séparément.

La plupart des volumes, de 300 à 400 pages, sont accompagnés de nombreuses planches parfaitement dessinées et gravées, et de vignettes intercalées dans le texte.

Les Manuels épuisés sont revus avec soin et mis au niveau de la Science à chaque édition. Aucun n'est cliché, afin de permettre d'y introduire les modifications et les additions indispensables.

Cette mesure, qui met l'Éditeur dans la nécessité de renouveler à chaque édition les frais de composition typographique, doit empêcher le Public de comparer le prix des *Manuels-Roret* avec celui des autres ouvrages tirés sur cliché à chaque édition, et ne bénéficier d'aucune amélioration.

Pour recevoir chaque volume franc de port, on doit adresser, en France, un mandat sur la poste (de préférence aux timbres-poste) équivalant au montant du port au Catalogue.

Cette franchise de port ne concerne que la Collection des *Manuels-Roret* et n'est applicable qu'en France et à l'Algérie. Les volumes expédiés à l'étranger seront grevés des frais de poste établis d'après les conventions internationales.

Bar-sur-Seine. — Imp. V^o G. SAILLARD.