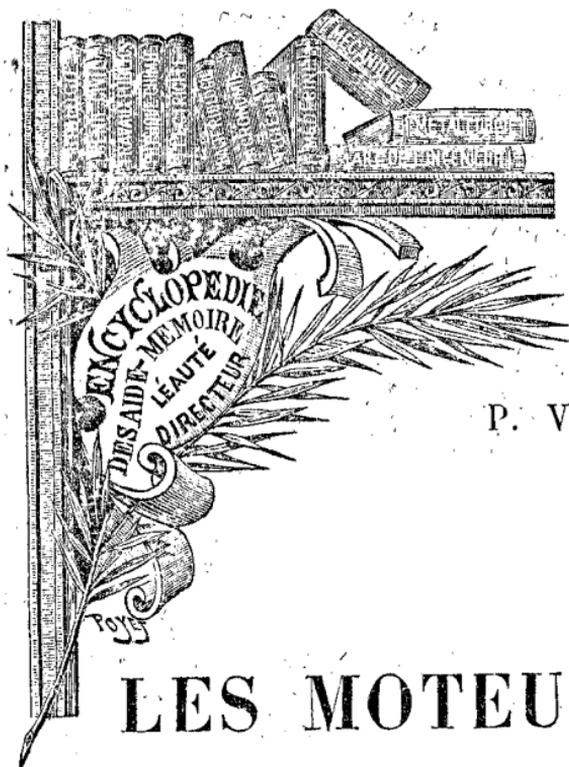


Section de l'Ingénieur



P. VERMAND

LES MOTEURS

A GAZ ET A PÉTROLE

DEUXIÈME ÉDITION

GAUTHIER-VILIARS ET FILS

MASSON ET C^{ie}

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

Section de l'Ingénieur

MM.

Alain-Abadie.
Alheilig.
Ariès (Comm^t).
Armengaud jeune.
Arnaud.
Barillot.
Bassot (C^t).
Baume-Pluvinel (de la).
Bérard (A.).
Bergeron (J.).
Berthelot.
Bertin.
Bertrand (L.).
Biglia.
Billy (Ed. de).
Bloch (Fr.).
Blondel.
Boire (Em.).
Bordet.
Bornecque.
Boucheron (H.).
Bourlet.
Boursault (H.).
Boussac (A.).
Candlot.
Caspari.
Charpy (G.).
Clugnet.
Croneau.
Damour.
Dariès.
Deforges.
Delafond.
Drzewiecki.
Dudebout.
Dufour.
Dumont.
Duquesnay.
Durin.
Dwelshauvers-Dery.
Fabre (Ch.).
Fabry.
Fourment.
Fribourg (C^t).
Frouin.
Gages (Cap.)

MM.

Garnier.
Gassaud.
Gastine.
Gautier (Henri).
Godard.
Gouilly.
Grimaux.
Grouvelle (J.).
Guenez.
Guye (C. Eug.).
Guye (Ph.-A.).
Guillaume (Ch.-Ed.).
Guyou (Comm^t).
Hatt.
Hébert.
Hennebert (C^t).
Henriet.
Hérisson.
Hospitalier (E.).
Hubert (H.).
Hutin.
Jacométy.
Jacquet (Louis).
Jaubert.
Jean (Ferdinand).
Launay (de).
Laurent (H.).
Laurent (P.).
Laurent (Th.).
Lavergne (Gérard).
Léauté (H.).
Le Chatelier (H.).
Lecornu.
Lecomte.
Lefèvre (J.).
Leloutre.
Lenicque.
Le Verrier.
Lindet (L.).
Lippmann (G.).
Loppé.
Lumière (A.).
Lumière (L.).
Madamet (A.).
Magnier de la Source.
Marchena (de).

MM.

Margerie.
Meyer (Ernest).
Michel-Lévy.
Minel (P.).
Minet (Ad.).
Miron.
Moëssard (C^t).
Moissan.
Moissenet.
Monnier.
Moreau (Aug.).
Müller.
Niewenglowski (G. H.).
Naudin (Laurent).
Ocagne (d').
Ouvrard.
Perrin.
Perrotin.
Picou (R.-V.).
Poulet (J.).
Pud'homme.
Rateau.
Resal (J.).
Ricaud.
Rocques (X).
Rocques-Desvallées.
Rouché.
Sarrau.
Sauvage.
Schlesing fils (Th.).
Schützenberger.
Seguela.
Seyrig (T.).
Sidersky.
Sinigaglia.
Sorel (E.).
Trillat.
Urbain.
Vallier (Comm^t).
Vermand.
Viariis (de).
Vigneron.
Vivet (L.).
Wallon (E.).
Widmann.
Witz (Aimé).

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

VERMAND — Les Moteurs à gaz et à pétrole

1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie
scientifique des Aide-Mémoire : F. Lafargue, ancien
élève de l'École Polytechnique, Secrétaire général,
169, boulevard Malesherbes, Paris.*

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

LES MOTEURS A GAZ ET A PÉTROLE

PAR

PAUL VERMAND

Ingénieur des Constructions navales

—

DEUXIÈME ÉDITION

—*—

PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS,	MASSON et C ^{ie} , ÉDITEURS,
IMPRIMEURS-ÉDITEURS	LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Quai des Grands-Augustins, 55	Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)

PREFACE

Il y a un peu plus de deux siècles, l'abbé Hautefeuille proposait un appareil destiné à l'élévation des eaux, en utilisant la force expansive de la poudre à canon. Vers la même époque Huyghens inventait aussi une machine utilisant une nouvelle force mouvante par le moyen de la poudre à canon et de l'air ; « la poudre, dit-il, venant à s'enflammer remplit le cylindre de flamme et en chasse l'air, de sorte que le cylindre demeure vide d'air ou du moins pour la plus grande partie. Ensuite le piston est forcé, par la pression de l'air qui pèse dessus, à descendre ». Sa machine, ne fonctionna guère ; sa construction laissait comme on peut penser, beaucoup à désirer.

Denis Papin, à son tour, essaya de réaliser une machine à poudre qui, comme la précédente

devait marcher sur le vide, mais dont l'insuccès le décida à employer la vapeur d'eau qui, dit-il, « fait ressort comme l'air et se condense par le froid, si bien qu'il ne reste plus une apparence de la force de ressort ». Dès lors les machines à poudre, les premières machines thermiques, que nous classerions aujourd'hui dans les moteurs atmosphériques, furent délaissées et tous les efforts furent dirigés vers leur rivale, la machine à vapeur.

Cette nouvelle machine progressa lentement et les tentatives de perfectionnement ne furent pas toujours couronnées de succès, mais il n'y a pas lieu de s'en étonner, si l'on songe qu'alors la plupart des propriétés de l'eau et de la chaleur étaient inconnues et que l'habileté des constructeurs laissait fort à désirer.

Ce n'est que depuis un siècle que la machine à vapeur est devenue, grâce à Watt, une machine industrielle; elle dépensait alors environ 3 kilogrammes de charbon par cheval et par heure. Depuis lors, elle a toujours progressé, pour en arriver à ne plus consommer que 0^{kg},650 dans le même temps.

Il était naturel, alors que les propriétés des gaz et des vapeurs étaient presque totalement inconnues, que l'on n'attachât pas d'importance

à la recherche d'un autre agent que l'eau, pour se procurer de la force à l'aide du feu.

C'est ainsi que les essais de John Berber et de Robert Street restèrent dans l'ombre. Il en fut à peu près de même pour le français Philippe Lebon qui prit un brevet en 1799 « pour de nouveaux moyens d'employer les combustibles plus utilement ». Il décrivait un moteur à gaz qui n'a guère été surpassé.

Puis vinrent les premières études sur la thermodynamique; le principe de Carnot, l'un des premiers reconnus vint dire « que le maximum de travail que l'on peut obtenir avec une quantité de chaleur donnée et entre deux températures données est indépendant de la nature du corps transformateur ».

Ce principe fut parfois ainsi traduit : dans toute machine thermique, le rendement est indépendant de la nature du corps transformateur. C'est à cette erreur que nous devons surtout attribuer la lenteur des progrès des machines à air pendant les quarante années qui suivirent la publication du livre de Carnot.

Si l'on admet en effet que le choix du corps transformateur de la chaleur en travail est indifférent, et si l'on veut bien remarquer qu'à cette époque la machine à vapeur fonctionnait

déjà dans d'assez bonnes conditions, que les machines à air chaud rencontraient à leur début des difficultés considérables tant pour échauffer l'air, pour graisser le cylindre, que pour faire des joints étanches, on peut comprendre que l'on ait renoncé à construire des moteurs qui étaient d'un fonctionnement peu sûr, mais par contre, d'un encombrement très grand.

Mais avec les progrès de la thermodynamique et les nombreuses expériences réalisées, il fallut bien reconnaître qu'il pouvait y avoir intérêt à remplacer l'eau par un autre corps. Si ce changement ne peut avoir d'influence sur le rendement maximum d'une machine parfaite, il peut en avoir une très grande sur celui d'une machine industrielle.

Cette action pourra se manifester, soit par la transformation du cycle, soit par le changement des températures extrêmes, soit par une diminution des pertes inhérentes au fonctionnement pratique de la machine, les pertes de chaleur par condensation et autres.

C'est alors que l'on vit apparaître les machines à vapeurs combinées, la machine à éther de M. du Tremblay, les machines à chloroforme, à sulfure de carbone, à ammoniacque, qui n'ont pas, il est vrai, donné des résultats pratiques.

Cette étude a été reprise dernièrement par M. Yarrow en se servant d'essences de pétrole et il semble que les derniers résultats sont satisfaisants.

Les machines à air et à gaz entrèrent aussi, vers la même époque, dans une période de progrès. A côté de Johnston qui invente la machine à gaz à condensation, Barsanti et Matteucci imaginent, sans pouvoir d'ailleurs la réaliser, la machine du type atmosphérique. Ericson produisait sa machine à air chaud dont le succès fut bientôt oublié.

Lenoir, en 1860, présenta le premier moteur à gaz qui pût marcher d'une façon irréprochable ; Belou donnait alors une machine à air chaud très remarquable pour l'époque.

A partir de ce moment, les machines à air chaud et à gaz, ces dernières principalement, ne cessèrent de se perfectionner sans pourtant arriver à lutter victorieusement contre la machine à vapeur, qui avait pris sur elles une avance considérable et était arrivée à une perfection remarquable.

Dans ces dernières années, les moteurs à gaz ont réalisé des progrès très sérieux. On construit actuellement des moteurs consommant seulement 550 litres de gaz par cheval-heure, alors

que la première machine de Lenoir en exigeait 2 500.

Ces moteurs qui, il y a peu d'années encore, étaient limités à des forces de quelques chevaux à peine, ont abordé entre les mains de constructeurs habiles des forces de 100 chevaux et au-delà.

Ils entrent, par conséquent, dans une nouvelle période et peuvent, dès à présent, faire concurrence à la machine à vapeur; concurrence d'autant plus sérieuse que certains constructeurs sont parvenus à établir des moteurs très légers; nous citerons, par exemple, un moteur Lalbin de 2,5 chevaux effectifs pesant seulement 100 kilogrammes.

Une étude même sommaire de ces moteurs offre donc un intérêt sérieux. Nous avons essayé dans les pages qui vont suivre de donner un aperçu des connaissances actuelles sur cette question.

PRÉFACE DE LA 2^e ÉDITION

Depuis la première édition de ce livre, les moteurs à gaz tonnant ont continué à justifier les espérances que l'on peut avoir dans leur avenir.

Les forces des moteurs en service ont augmenté et les consommations ont diminué; nous citerons, comme exemple, un moteur Simplex de 250 chevaux à un seul cylindre consommant 468 grammes de charbon maigre d'Anzin.

En même temps, et grâce au développement rapide de l'automobilisme, le nombre des moteurs s'est accru, le poids des machines par cheval a diminué, témoin un moteur Pygmée de 6 chevaux ne pesant que 140 kilogrammes.

Enfin, un facteur nouveau, l'acétylène, dont l'usage est encore trop récent pour donner des résultats définitifs, fait espérer pour l'avenir des applications intéressantes.

CHAPITRE: PREMIER

DES DIFFÉRENTS MOTEURS THERMIQUES CLASSIFICATION — FONCTIONNEMENT

1. Division des moteurs thermiques. —
On donne le nom de *moteur thermique* à toute machine destinée à transformer la chaleur en travail. On sait que, sous l'influence de la chaleur, les corps augmentent de volume et refoulent par conséquent les corps qui viennent presser leur surface externe. La dilatation produit donc un travail. Tous les corps augmentant de volume quand leur température croît, solides, liquides et gaz seraient donc propres à servir de corps transformateurs ; ils ne jouissent pas tous de cette propriété à un égal degré. Les liquides comme les solides ont une dilatation bien faible

14 CLASSIFICATION DES MOTEURS THERMIQUES

et, dans la pratique, on est forcé de recourir aux gaz ou aux vapeurs.

Nous pouvons diviser en trois grandes catégories les différents moteurs thermiques. Nous trouvons d'abord, ceux obtenus en transformant par la chaleur un liquide en vapeur et utilisant la force expansive de cette vapeur pour produire du travail.

Nous aurons ainsi les *machines à vapeur* et les *machines à vapeurs combinées* dans lesquelles les liquides employés seront l'eau, le pétrole, l'éther, le chloroforme, etc. ; nous devons faire rentrer dans cette catégorie les machines qui, comme la machine à ammoniacque par exemple, utilisent la différence des tensions des dissolutions des gaz aux différentes températures.

Une autre grande catégorie comprendra les *moteurs à air chaud* (qui seraient d'ailleurs mieux nommés moteurs à gaz si l'usage n'avait pas réservé cette expression pour une autre classe de moteurs). Des gaz pris à une pression qui varie avec le système de la machine, sont chauffés à une température qui ne dépasse guère actuellement 300°. La dilatation, corrélative ou non d'une augmentation de pression, permet à ces gaz d'accomplir un travail recueilli par les

organes de la machine. Ici le réchauffage des gaz se fait lentement, soit qu'ils soient échauffés par l'extérieur, comme c'est le cas de quelques machines aujourd'hui abandonnées, soient qu'ils viennent passer dans l'enceinte où brûle le combustible. Dans le premier cas, le gaz employé est l'air atmosphérique, dans le second, il se compose des produits de la combustion.

La troisième catégorie comprendra les *moteurs à gaz et à pétrole* qui sont aussi dénommés *moteurs à gaz tonnant*. Dans ceux-ci, le corps transformateur est encore formé par les produits de la combustion, mais ce qui les différencie d'une façon absolue de ceux de la catégorie précédente, c'est que la chaleur à transformer en travail n'est développée dans le mélange gazeux qu'après la fin de l'admission au cylindre moteur.

Le combustible est toujours, soit à l'état gazeux (gaz de houille, gaz à l'eau, etc.), et il est aspiré par le moteur en même temps que l'air nécessaire à la combustion, soit à l'état liquide émettant facilement des vapeurs qui se mélangent à l'air aspiré, soit mélangé mécaniquement à cet air. La condition nécessaire pour le fonctionnement est que sous l'influence d'une cause extérieure, flamme ou étincelle électrique,

le mélange puisse s'enflammer. Il y a dans ce cas détonation, ce qui vaut à ces moteurs le nom de moteurs à gaz tonnant.

Nous ne nous occuperons dans ce livre que des moteurs de cette espèce. Les machines auxquelles on donne généralement le nom de *moteurs à gaz à combustion*, dans lesquelles le corps transformateur est un gaz, le combustible également un gaz (gaz d'éclairage, air carburé), et où la combustion se fait avant l'admission au cylindre ou pendant cette admission, doivent naturellement être étudiées avec les machines à air chaud. Il n'en sera pas question ici.

Nous devrions logiquement joindre dans ce volume aux *moteurs à gaz tonnant*, les *moteurs à explosion*, quelle que soit la nature des explosifs employés. Mais ces moteurs sont encore trop peu étudiés pour que nous puissions faire autre chose que les citer ici. Qu'il nous suffise de dire qu'une grande partie de la théorie des moteurs à gaz leur est applicable. Les seules particularités qui leur soient propres, sont le mode d'approvisionnement, de distribution et d'allumage.

Examinons maintenant le fonctionnement général de ces trois ordres de moteurs.

2. Moteurs à vapeur. — Dans ces moteurs, une chaudière fait passer l'eau, ou tout autre

corps, de l'état liquide à l'état de vapeur. Cette chaudière est nécessairement chauffée par l'extérieur et nous savons que dans les meilleures conditions, par suite de la production des escarbilles et des gaz chauds, la perte sur la chaleur fournie par le combustible sera d'au moins 33 %.

D'autre part, l'eau qui aura absorbé, pour passer à l'état de vapeur, une quantité de calories donnée par :

$$Q = 606,5 + 0,305t - t_1$$

et dont la presque totalité arrivera au condenseur à l'état de vapeur, contiendra encore environ $\frac{7}{10}$ de la chaleur qui lui aura été fournie, le 1^{er} terme de la valeur Q étant bien supérieur aux variations possibles, dans l'état actuel des choses, des deux autres. Le rendement thermique sera donc bien faible.

Il est bien évident que le changement du liquide de la chaudière entraînant celui des coefficients de la formule, peut changer complètement le rendement. Si ce fait avait besoin de vérifications nouvelles on en trouverait une dans les expériences de M. Yarrow sur les machines à vapeur de pétrole.

Si, d'autre part, comme dans les *machines à vapeurs combinées*, la chaleur de condensation de la vapeur d'eau est employée à vaporiser d'autres liquides qui viendront à leur tour produire du travail, le rendement pourra évidemment se relever.

Dans toutes ces machines, la nécessité du changement d'état du corps transformateur est la cause qui assigne au rendement thermique une valeur limite assez faible.

3. Moteurs à air chaud. — Si nous passons maintenant à la seconde catégorie, les moteurs à air chaud, nous aurons à introduire dans le réchauffeur, à une pression convenable, l'air nécessaire à la marche de la machine. Le travail d'alimentation, qui était négligeable dans les moteurs de la première catégorie, où l'eau était introduite à l'état liquide, est devenu ici très important, au point d'atteindre parfois la totalité du travail moteur; on doit donc s'efforcer de le réduire le plus possible. L'importance de ce travail d'alimentation est une des causes qui maintiennent le rendement thermique à une valeur assez faible.

Dans ces machines, les unes, la machine d'Ericson par exemple, ont un chauffage externe; dans les autres, l'air vient passer après

sa compression dans un foyer où il s'échauffe. Ce deuxième mode a évidemment sur le premier un avantage sérieux qui vaut à la machine, toutes choses égales d'ailleurs, un rendement supérieur de moitié.

4. Moteurs à gaz. — Les moteurs de la troisième catégorie ou moteurs à gaz tonnant diffèrent des précédents, comme nous l'avons dit, en ce que l'échauffement du mélange gazeux n'a lieu qu'après l'admission au cylindre moteur, et nous verrons plus loin que ce troisième mode de chauffage est à son tour bien supérieur au second.

C'est en ce point que consiste principalement la supériorité théorique des moteurs à gaz tonnant sur tous les autres moteurs thermiques.

En somme, en laissant de côté quelques exceptions, nous pourrions dire que, d'une façon générale, pour les moteurs de la première catégorie, le chauffage est externe, pour ceux de la seconde, il est, soit interne soit externe, et que, pour ceux de la troisième, le chauffage, interne, n'intervient qu'au moment de la détente des gaz.

Ce sont les moteurs du troisième genre que nous allons étudier ; ils comprennent deux catégories bien tranchées de moteurs :

20 FONCTIONNEMENT DES MOTEURS THERMIQUES

Dans les premiers, qui sont de beaucoup les plus répandus, le travail résultant de l'expansion des gaz est directement employé dans le moteur. Ils se divisent ordinairement en *moteurs à gaz sans compression* et *moteurs à gaz à compression préalable*.

Dans les derniers, le travail d'expansion des gaz n'est utilisé que pour refouler l'air atmosphérique qui baigne l'une des faces du piston de la machine, qui est par conséquent toujours à simple effet, et produire derrière ce piston un vide plus ou moins fort. La course de retour qui s'effectue sous l'action de la pression atmosphérique est seule employée pour produire du travail.

C'est cette particularité qui vaut à ces moteurs le nom de *moteurs atmosphériques*.

CHAPITRE II

PROPRIÉTÉS DES GAZ

5. Lois de Mariotte et de Gay-Lussac. — Quand un gaz se comprime ou se dilate sans que sa température vienne à changer, on sait que la loi qui relie le volume et la pression est la suivante, connue sous le nom de loi de Mariotte :

$$pv = p_0v_0$$

p représentant la pression, v le volume du gaz (l'indice 0 étant affecté à l'état initial).

Si, en même temps que le volume, la température vient à changer, nous aurons la relation suivante, due à Gay-Lussac :

$$\frac{pv}{1 + \alpha t} = \frac{p_0v_0}{1 + \alpha t_0}$$

dans laquelle α est une constante pour un même gaz, t_0 et t , les températures initiale et finale.

Si nous convenons de rapporter toujours l'état initial du gaz à une même pression et à une même température, la quantité

$$\frac{p_0 v_0}{\frac{1}{\alpha} + t_0}$$

(en supposant, ce qui aura toujours lieu, sauf observation contraire, que nous considérons l'unité de poids du gaz) est pour chaque gaz une constante que nous désignons par R .

On prend d'ordinaire pour définir l'état initial, la température 0° du thermomètre centigrade et la pression de 760 millimètres de mercure.

L'expérience a montré en outre que, pour un grand nombre de gaz, la valeur de α était sensiblement la même $\left(\frac{1}{273}\right)$. D'autre part, on a coutume d'appeler *température absolue*, la quantité $T = 273 + t$ ce qui simplifie les formules, mais à laquelle on ne doit pas attacher de signification théorique précise.

Nous pouvons, par conséquent, écrire pour un gaz quelconque :

$$pv = RT$$

R étant une constante spécifique du gaz.

Cette formule n'est pas rigoureusement exacte, mais elle nous suffira largement pour l'étude des moteurs à gaz.

Une formule beaucoup plus exacte et représentant assez fidèlement le résultat des expériences de M. Regnault et d'autres expérimentateurs serait, μ étant une constante :

$$p(v + \mu) = RT.$$

6. Chaleur spécifique. Calorie. — Toutes les fois qu'un corps est mis en relation avec un autre corps, dont la température est supérieure à la sienne, sa température varie ; on dit qu'il absorbe de la chaleur.

La quantité de chaleur qu'il a absorbée, quand sa température a augmenté de 1° du thermomètre centigrade, ou sa *chaleur spécifique*, varie suivant la nature du corps, les changements qu'ont subi pendant ce temps son volume et sa pression, enfin avec sa température initiale. On distingue en particulier la *chaleur spécifique à pression constante* que nous désignerons par c_p et la *chaleur spécifique à volume constant* que nous noterons c_v .

Pour pouvoir calculer les quantités c_p et c_v on adopte pour unité de quantité de chaleur, unité que l'on nomme *calorie*, la quantité de

chaleur nécessaire pour porter 1 kilogramme d'eau de la température de 0° à celle de 1° du thermomètre centigrade.

Nous allons admettre d'abord, ce qui a été accepté longtemps, sur la foi des expériences de M. Regnault, que les deux chaleurs spécifiques sont indépendantes de la température et de la pression. Ces expériences n'avaient été poussées que jusqu'à 200° .

Nous verrons plus loin les modifications qui sont introduites dans la théorie des gaz par suite de la variation de ces chaleurs spécifiques avec la température.

7. Équivalent mécanique de la chaleur.

— L'expérience a montré que, sous l'influence de la dilatation produite par une source de chaleur, un corps peut produire du travail.

En comprimant un corps, un gaz par exemple, il se produit une élévation de la température de ce corps, partant une production de chaleur.

L'expérience a prouvé qu'il y avait, dans tous les cas, une relation intime entre la chaleur disparue ou créée et le travail fourni ou dépensé. A une calorie disparue correspond toujours un travail de 425 kilogrammes. Autrement dit, si pour une transformation quelconque, la dé-

pense algébrique du travail est τ , celle de la chaleur Q , on a les relations :

$$\tau = EQ \quad Q = A\tau$$

E est l'équivalent mécanique de la chaleur dont la valeur numérique est 425. A est son inverse.

8. Chaleur interne d'un corps. — La chaleur interne d'un corps ou quantité de chaleur contenue dans ce corps est déterminée, comme la température d'ailleurs, quand la pression et le volume sont donnés ; on la désigne par le symbole U . Nous avons alors

$$U = F(p, v)$$

et par différentiation

$$dU = \frac{\partial U}{\partial p} dp + \frac{\partial U}{\partial v} dv.$$

Quand un corps soumis à l'influence d'une source de chaleur subit une transformation telle que son volume seul change en même temps que sa température, il produira un travail extérieur représenté par

$$\int_{v_0}^v p dv$$

et, en même temps, sa chaleur interne passera de

la valeur U_0 à la valeur U . Si Q est la quantité de chaleur dépensée, nous aurons la relation :

$$Q = U - U_0 + \Lambda \int_{v_0}^v p dv$$

ou, en ne considérant qu'une transformation infiniment petite :

$$dQ = dU + \Lambda p dv$$

ou encore

$$dQ = \left(\frac{\partial U}{\partial p} \right) dp + \left(\frac{\partial U}{\partial v} + \Lambda p \right) dv.$$

Nous pouvons simplifier le second membre; si nous supposons le volume constant, la quantité de chaleur fournie sera $c_v dt$

$$c_v \frac{dt}{dp} = \frac{\partial U}{\partial p}.$$

Si maintenant nous supposons la pression constante, la chaleur fournie sera $c_p dt$ et nous aurons de même

$$c_p \frac{dt}{dv} = \frac{\partial U}{\partial v} + \Lambda p$$

l'équation peut alors s'écrire

$$dQ = c_v \frac{dt}{dp} dp + c_p \frac{dt}{dv} dv.$$

En appliquant ces formules aux gaz pour lesquels nous avons

$$pv = RT \quad \frac{dt}{dp} = \frac{v}{R} \quad \frac{dt}{dv} = \frac{Ry}{p} \frac{p}{R}$$

il vient :

$$dQ = c_v \frac{v}{R} dp + c_p \frac{p}{R} dv = \frac{1}{R} (c_v v dp + c_p p dv).$$

Pour pouvoir intégrer les deux membres nous allons nous placer dans les différents cas particuliers.

Échauffement sous volume constant. — Dans ce cas, nous avons

$$dv = 0 \quad dQ = c_v \frac{v}{R} dp$$

$$Q = \int_{p_0}^p c_v \frac{v}{R} dp = \frac{c_v}{R} v (p - p_0) = c_v (t - t_0)$$

ce qui était d'ailleurs évident d'après la définition de la chaleur spécifique à volume constant.

Échauffement sous pression constante. — Nous avons ici

$$dp = 0 \quad dQ = c_p \frac{p}{R} dv$$

d'où

$$Q = c_p (t - t_0)$$

9. Dilatation des gaz à température constante ou détente isothermique. — Nous allons différentier $pv = RT$, mais le 2^e membre de l'équation a une valeur constante, donc :

$$vdp + pdv = 0$$

nous en déduisons :

$$dQ = c_p \frac{p}{R} dv + c_v \frac{v}{R} dp = \frac{c_p - c_v}{R} pdv.$$

D'autre part, si la température ne varie pas, la chaleur interne a une valeur constante, la chaleur fournie est donc uniquement employée à produire le travail extérieur ; or dans ce cas nous avons $Q = \Lambda \tau$ et pdv représente justement le travail élémentaire extérieur ; nous avons donc

$$Q = \Lambda \tau = \int_{v_0}^v \frac{c_p - c_v}{R} pdv = \int_{v_0}^v \Lambda pdv$$

On en déduit en même temps $\Lambda = \frac{c_p - c_v}{R}$ relation vérifiée par l'expérience. Nous avons ensuite

$$p = \frac{RT}{v}$$

$$Q = \Lambda RT \log \text{nép} \frac{v}{v_0} = \Lambda p_0 v_0 \log \text{nép} \frac{v}{v_0}.$$

10. Détente adiabatique des gaz. — Si nous laissons un gaz se détendre ou si nous le comprimons, sans lui fournir ni lui enlever de chaleur, nous aurons la transformation à laquelle on a donné le nom d'*adiabatique*. Dans ce cas

$$dQ = 0$$

donc

$$c_v \frac{v}{R} dp + c_p \frac{p}{R} dv = 0$$

et, en posant $\frac{c_p}{c_v} = \gamma$ et divisant par $c_v \frac{pv}{R}$

$$\frac{dp}{p} + \gamma \frac{dv}{v} = 0$$

équation dont l'intégrale est

$$\log \text{ nép } \frac{p}{p_0} + \gamma \log \text{ nép } \frac{v}{v_0} = 0$$

ou encore

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{v_0}{v} \right)^\gamma \quad pv^\gamma = p_0 v_0^\gamma = c^{\text{te}}$$

nous avons ainsi la relation entre le volume et la pression dans le cas d'une transformation adiabatique.

11. Modifications introduites dans la théorie des gaz par la variation des chaleurs spécifiques avec la température. — Dans les pages précédentes nous avons admis que les quantités c_p , c_v , γ étaient, pour un même gaz, indépendantes de la température. Il eut été plus exact de dire que de 0 à 200° les variations de ces coefficients n'ont pu être révélées par les expériences de M. Regnault. Les formules précédentes, pourront donc s'appliquer toutes les fois que la température des gaz ne s'élèvera pas notablement au-dessus de 200°.

Les expériences de MM. Mallard et Le Chatelier, Berthelot et Vieille ont prouvé que, pour des températures de 2 à 3000°, la chaleur spécifique à volume constant acquiert des valeurs très sensiblement plus grandes que celles qui se déduisent des expériences de M. Regnault. Pour l'acide carbonique, par exemple, sa valeur a plus que doublé vers 2000°. On conçoit que ces faits puissent apporter des modifications profondes dans les formules que nous avons rappelées au début de ce chapitre.

Voici les résultats obtenus par MM. Mallard et Le Chatelier :

« Les chaleurs spécifiques moléculaires des
« gaz parfaits, qui sont égales entre elles aux

« températures ordinaires, le sont encore aux
 « températures élevées jusque près de 3000° et
 « peut-être au-dessus.

« Ces chaleurs spécifiques augmentent avec la
 « température.

« Les chaleurs spécifiques des gaz facilement
 « liquéfiables augmentent, avec la température,
 « plus rapidement que pour les gaz parfaits.

« Les chaleurs spécifiques dont il est question
 « ici sont celles à volume constant ; elles sont de
 « la forme

$$c_v = a' + b't \text{ (}^1\text{)}$$

(1) Voici les valeurs de ces coefficients pour différents gaz :

Nature des gaz	a'	b'
Oxygène	4,8	0,0006
Hydrogène	4,8	0,0006
Azote	4,8	0,0006
Acide carbonique	6,26	0,00367
Air.	4,8	0,0006
Vapeur d'eau	5,61	0,00328

Pour avoir les chaleurs spécifiques rapportées au poids, il faut diviser les chiffres de ce tableau par les poids moléculaires.

Appliquons ces résultats aux gaz, pour lesquels nous avons déjà

$$pv = RT.$$

La chaleur spécifique vraie à la température T pourra s'exprimer par une des formules suivantes, où a et b sont des constantes :

$$c_v = a + bRT = a + bpv.$$

Chaleur interne. — Nous avons trouvé plus haut

$$dU = \frac{c_v}{R} (pdv + vdp)$$

Remplaçons c_v par sa valeur et intégrons :

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{R} \int (a + bpv) (pdv + vdp) = \\ &= \frac{1}{2bR} (a + bpv)^2 + c^{te} \end{aligned}$$

ou encore

$$\begin{aligned} U - U_0 &= \frac{1}{2bR} [(a + bRT)^2 - (a + bRT_0)^2] \\ U - U_0 &= (T - T_0) \left(a + \frac{bR}{2} (T + T_0) \right) \end{aligned}$$

Chaleurs spécifiques. — Nous avons vu plus

haut que, pour les gaz qui obéissent à l'équation $pv = RT$, nous avons la relation

$$c_p - c_v = AR.$$

Nous n'avions alors fait aucune hypothèse sur les valeurs de c_p et c_v ; cette formule est encore exacte.

Quantité de chaleur à fournir pendant l'échauffement. -- Nous avons comme précédemment

$$dQ = \frac{c_v v dp + c_p p dv}{R}$$

ou encore

$$dQ = \frac{c_v}{R} (v dp + p dv) + A p dv = c_v dt + A p dv$$

équations que nous pourrons intégrer dans chaque cas particulier.

Échauffement à volume constant.

$$dv = 0 \quad dQ = \frac{c_v}{R} v dp = \frac{v}{R} (a + bpv) dp$$

En intégrant

$$Q = \frac{av}{R} (p - p_0) + \frac{bv^2}{2R} (p^2 - p_0^2);$$

en employant une autre expression de dQ

$$dQ = c_v dT$$

c'est la définition de la chaleur spécifique vraie, à une température donnée,

$$dQ = (a + bRT)dT$$

$$Q = a(T - T_0) + \frac{bR}{2}(T^2 - T_0^2)$$

$$Q = \left(a + bR \frac{T + T_0}{2} \right) (T - T_0).$$

Or $a + bR \frac{T + T_0}{2}$ est la chaleur spécifique moyenne de T à T_0 ; nous retrouvons donc encore une définition connue.

Échauffement à pression constante.

$$dp = 0 \quad dQ = \frac{c_p}{R} p dv$$

de la relation $c_p - c_v = AR$ nous tirons

$$c_p = c_v + AR = a + AR + bRT$$

$$dQ = (a + AR + bRT)dt$$

$$Q = (a + AR)(T - T_0) + \frac{bR}{2}(T^2 - T_0^2) =$$

$$= \left(a + AR + \frac{bR}{2}(T + T_0) \right) (T - T_0)$$

Nous retrouvons encore la chaleur spécifique moyenne.

Compression d'un gaz à température constante ou compression isothermique.

$$dt = 0 \quad dQ = Apdv$$

Remplaçons p par sa valeur et intégrons, nous aurons :

$$Q = Ap_0v_0 \log \text{nép} \frac{v}{v_0}$$

nous retrouvons la formule ordinaire, ce qui était évident.

Compression adiabatique. — Nous n'enlevons ni ne fournissons de chaleur, $dQ = 0$

$$c_v v dp + c_p p dv = 0 \quad \text{avec } c_p - c_v = AR$$

$$c_v(vdp + pdv) + ARpdv = 0$$

$$(A) \quad (a + bpv)(vdp + pdv) + ARpdv = 0$$

Intégrons :

$$\frac{1}{2b} (a + bpv)^2 + AR \int pdv + c^te = 0$$

$\int_{v_0}^v pdv$ n'est autre que le travail extérieur \mathfrak{E}

donc

$$\begin{aligned} A\mathfrak{E} &= \frac{1}{2bR} [a + bRT]^2 - (a + bRT_0)^2] = \\ &= \frac{1}{2bR} [2abR(T - T_0) + bR(T^2 - T_0^2)] = \\ &= (T - T_0) \left(a + \frac{bR}{2} (T + T_0) \right). \end{aligned}$$

Cette formule n'est autre que la formule ordinaire, puisque le second terme du second membre est la chaleur spécifique moyenne de T à T_0 .

La loi de variation de p , v et T est bien déterminée, c'est-à-dire que, partant de la condition de détente adiabatique, la valeur attribuée à l'une quelconque des variables entraîne pour les deux autres des valeurs uniques et bien déterminées. Nous pouvons donc prendre comme variable indépendante T ou t et poser :

$$p = \varphi(t) \quad v = \frac{RT}{\varphi(t)}$$

$$dp = \frac{d\varphi}{dt} dt \quad dv = \frac{R\varphi(t) - RT \frac{d\varphi}{dt}}{\varphi^2(t)} dt.$$

Portons ces valeurs dans l'équation (A), on a successivement :

$$(a + bRT) \left[\frac{RT}{\varphi(t)} \frac{d\varphi}{dt} + \frac{R\varphi(t) - RT \frac{d\varphi}{dt}}{\varphi^2(t)} \right] dt +$$

$$+ AR \frac{R\varphi(t) - RT \frac{d\varphi}{dt}}{\varphi(t)} dt = 0$$

$$(a + bRT)dt + \left(AR - \frac{ART}{\varphi(t)} \frac{d\varphi}{dt} \right) dt = 0$$

$$\frac{1}{\varphi(t)} \frac{d\varphi}{dt} dt = \frac{1}{ART} (a + AR + bRT) dt =$$

$$= \frac{a + AR}{AR} \frac{dt}{T} + \frac{b}{A} dt$$

d'où, en intégrant :

$$\begin{aligned} \log \text{ nép } \frac{\varphi(t)}{\varphi(t_0)} &= \log \text{ nép } \frac{p}{p_0} = \\ &= \frac{a + AR}{AR} \log \text{ nép } \frac{T}{T_0} + \frac{b}{A} (T - T_0) \end{aligned}$$

d'où

$$\begin{aligned} \log \text{ nép } \frac{p}{p_0} \left(\frac{T_0}{T} \right)^{\frac{a + AR}{AR}} &= \frac{b}{A} (T - T_0) \\ \frac{p}{p_0} \left(\frac{T_0}{T} \right)^{\frac{a + AR}{AR}} &= e^{\frac{b}{A} (T - T_0)} \\ \frac{p}{p_0} \left(\frac{p_0 v_0}{p v} \right)^{\frac{a + AR}{AR}} &= e^{\frac{b}{A} (T - T_0)} \\ \frac{p_0}{p} \left(\frac{v_0}{v} \right)^{\frac{a + AR}{a}} &= e^{\frac{bR}{a} (T - T_0)} \end{aligned}$$

expression qui, pour la température ordinaire, donne la formule habituellement employée. En effet $\frac{a + AR}{a}$ n'est autre que le rapport γ des deux chaleurs spécifiques.

Les formules auxquelles nous sommes conduits, sont plus compliquées que les expressions ordinaires; pour justifier leur emploi, nous avons à montrer qu'elles donnent des résultats notablement différents.

Prenons par exemple un gaz à la pression de 10^{atm} et à la température de 2000° ; laissons-le se

détendre adiabatiquement jusqu'à la pression atmosphérique. La formule ordinaire

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{0,29} \text{ donne } T = 1026^\circ.$$

Cherchons quelle détente nous devons employer d'après la formule à laquelle nous avons été conduits plus haut pour que le gaz ait, après sa détente, la température de 1026°

$$\left(\frac{2000}{1026}\right)^{\frac{a + AR}{a}} = \frac{p_0}{p} e^{\frac{b}{A}(2000 - 1026)}.$$

Nous donnerons aux divers coefficients les valeurs trouvées pour un des mélanges gazeux étudiés plus loin ; nous trouverons ainsi : $\frac{p}{p_0} = 16,6$. Nous avons tout à l'heure $= 10$. La différence est, on le voit, assez importante et la complication apportée dans les calculs est compensée par une exactitude plus grande. On objectera, peut-être, que l'on n'eût pas pris la valeur $\gamma = 1,40$ pour faire ce calcul, mais une autre donnant un résultat plus approché. Il faudrait donc connaître le résultat *a priori* pour déterminer convenablement la valeur de γ . On verra d'ailleurs plus loin, en comparant les valeurs des rendements de différentes machines avec ceux qui ont été calculés par d'autres méthodes, que les résultats sont loin d'être concordants.

CHAPITRE III

ETUDE DE LA COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX

On doit aux recherches de nombreux savants, parmi lesquels il convient de citer en première ligne, MM. Mallard et Le Chatelier, Berthelot et Vieille, Witz, des données précises sur la manière dont se comportent les mélanges tonnants. Nous examinerons successivement l'influence de la composition du mélange et de son état physique, sur la vitesse d'inflammation, la température et la pression réalisées au moment de l'explosion.

12. Inflammation. — Pour que la combustion puisse se propager dans un mélange gazeux, il faut d'abord que le mélange soit *inflammable*, c'est-à-dire qu'en un point on puisse provoquer la combustion par élévation de la température,

connexe ou non de la présence d'une flamme ; ensuite que la chaleur produite par la combustion soit assez considérable pour porter à la température de combustion les couches avoisinantes. On comprend, d'après cela, que le volume de l'allumeur puisse avoir une influence sérieuse ; il devra non seulement être à une haute température, mais encore dégager une quantité suffisante de chaleur.

Des mélanges pauvres pourront s'enflammer plus facilement au contact d'une flamme que d'une étincelle électrique, quoique la première soit à une température inférieure à la seconde ; mais par contre son volume est plus considérable et le dégagement total de chaleur plus grand.

On peut encore, et c'est ce qui fait le succès du moteur Otto, se servir, pour enflammer un mélange pauvre, d'un mélange plus riche et par conséquent plus inflammable.

L'influence des parois plus froides que la flamme aura pour effet de refroidir les gaz, par conséquent, de retarder l'inflammation ; c'est ce qui rend parfois la mise en marche d'un moteur assez laborieuse.

On a reconnu que la combustibilité augmente légèrement avec la pression. L'emploi d'une

compression préalable pourra, par conséquent, permettre l'emploi de mélanges à dosages plus faibles.

L'influence prépondérante appartient, évidemment, à la nature et aux proportions des gaz mélangés. Le maximum d'inflammabilité a lieu pour le mélange présentant les proportions voulues pour la réaction chimique complète; en deçà et au delà de ce point, elle diminue.

Pour le gaz d'éclairage, à la température et à la pression ordinaires, l'inflammabilité commence pour 1 volume de gaz et 3,6 volumes d'air, elle est maxima pour 6 volumes et s'annule de nouveau pour 16 volumes.

13. Vitesse de propagation de la flamme.

— La vitesse de propagation de la flamme varie de quelques décimètres à quelques mètres par seconde, pour les mélanges ordinaires; pour des mélanges spéciaux elle peut atteindre dans le même laps de temps plusieurs milliers de mètres; MM. Berthelot et Vieille qui ont découvert ce fait lui ont donné dans ce cas le nom d'*onde explosive*. Ce dernier cas ne se rencontre pas dans les mélanges employés dans les moteurs à gaz.

Cette vitesse varie avec l'état d'agitation du mélange.

MM. Mallard et Le Chatelier ont trouvé qu'elle varie pour le gaz d'éclairage de $0^m,44$ pour le mélange contenant 10 % de gaz, à $1^m,25$ pour celui qui en contient 17 %.

La vitesse de propagation de la flamme, dans un mélange d'air et d'acétylène, est de $0^m,18$ pour le mélange à 3 % d'acétylène; elle augmente jusqu'à 6 mètres pour le mélange à 10 % et décroît ensuite.

En examinant les formules relatives aux différents moteurs, on voit immédiatement que le rendement augmente avec la température et la pression maxima. Or, plus la vitesse de combustion sera considérable, plus ces deux quantités augmenteront. La température et la pression maxima, pour la combustion à volume constant, augmentent en effet, comme la vitesse de propagation, avec la richesse du mélange. En outre, pour le cas des moteurs, la combustion se rapprochera d'autant plus de ce qu'elle est à volume constant, que sa durée sera moindre, partant la vitesse de propagation plus considérable.

Le maximum de rendement serait obtenu, si cette explosion était instantanée. Par conséquent, les moteurs pour lesquels l'inflammation aura lieu au voisinage des points morts, alors que la vitesse du piston est faible et que, par consé-

quent, l'explosion a lieu à volume à peu près constant, auront un avantage marqué. Ceci correspond presque fatalement à l'emploi d'une compression préalable et c'est une nouvelle raison de la supériorité des moteurs du second type.

La température à laquelle sont portés les gaz exerce une grande influence sur la vitesse de propagation. MM. Mallard et Le Chatelier ont trouvé pour un mélange à 30 % d'hydrogène et d'air les vitesses suivantes :

A 15°	3 ^m ,28
A 10°	4 ^m ,35

Si l'on examine les diagrammes (p. 90) relevés successivement sur un moteur muni d'un régulateur de vitesse actionnant la valve d'arrivée du gaz, on peut constater que, le travail demandé au moteur venant à diminuer, et par conséquent la dilution du gaz augmentant, non seulement la pression maxima indiquée diminuera, mais encore que le point de la course où la combustion est terminée ira en s'éloignant de plus en plus du point d'inflammation. Ceci tient à la fois au changement de composition du mélange et à la diminution de la température des parois du cylindre, et nous pourrions constater en même temps que le rendement va en diminuant.

Nous avons encore un point à signaler : c'est que lorsque les proportions du mélange s'écartent sensiblement des proportions théoriques, une partie du gaz échappe à la combustion.

M. Witz a constaté que, pour le mélange de 1 volume de gaz avec 11,6 volumes d'air, la proportion de gaz non brûlé pouvait atteindre 12 %, alors que cette combustion est complète pour le mélange de 1 volume de gaz avec 6 volumes d'air.

Ceci est encore une nouvelle cause d'abaissement du rendement des moteurs. Il pourra même arriver, dans certains cas, que la teneur du mélange en gaz devienne assez faible pour que celui-ci cesse d'être combustible, et nous aurons dans ce cas une perte absolue.

Aussi, pour les régulateurs, il est préférable, passé un certain point, de supprimer entièrement l'arrivée du gaz.

En résumé, nous voyons qu'en nous plaçant seulement au point de vue de la combustion :

1° Il est indispensable que la teneur en gaz soit assez forte pour que le mélange soit combustible ; l'allumeur doit être à une température assez élevée et dégager une quantité de chaleur assez forte.

2° Une élévation de température des gaz ou

des parois des cylindres, une forte compression préalable viennent faciliter l'allumage.

3° Il est avantageux, au point de vue du rendement, d'augmenter la vitesse de combustion, qui est accrue, d'ailleurs, par les différentes causes qui facilitent l'inflammation.

14. De l'action de paroi. — Les parois du cylindre jouent dans les moteurs à gaz un rôle presque aussi important que dans les machines à vapeur. Comme ces dernières, un grand nombre de moteurs sont munis d'une enveloppe, mais cette enveloppe a pour but, non de réchauffer les parois internes des cylindres, mais de les refroidir.

La nécessité de cette enveloppe résulte des températures très élevées que l'on rencontre dans les moteurs et qui tendent à empêcher la lubrification des parois, à entraver par conséquent le fonctionnement mécanique de la machine. Cette enveloppe est traversée par un courant d'eau froide qui emporte à sa sortie une fraction importante, dépassant parfois 50 %, de la chaleur dégagée.

Les recherches de MM. Mallard et Le Châtelier, Vieille, Witz ont montré que la perte de chaleur par les parois, que le volume fût constant ou variable, était sensiblement proportion-

nelle à la quantité $\frac{V}{S}$, S étant la surface de paroi, V le volume du mélange.

A ce nouveau point de vue, les moteurs à compression auront encore un avantage, puisque à poids égal du mélange, c'est-à-dire à dépense égale, le terme $\frac{V}{S}$ sera plus faible.

S'il s'agit d'un cylindre dans lequel se meut un piston, il est évident que plus la vitesse de ce piston augmentera, moins le gaz, à température élevée, restera en présence de la paroi plus froide ; la durée du refroidissement venant à diminuer, le refroidissement total deviendra lui-même moindre.

Les expériences de M. Witz ne laissent aucun doute à cet égard. Nous extrayons, de son livre sur les *Moteurs à gaz*, le tableau qui est reproduit p. 47 et qui montre que l'utilisation paraît, dans d'assez grandes limites, même pour des mélanges de composition différente, varier absolument comme la vitesse de détente.

L'accord est on le voit assez satisfaisant.

L'utilisation croît avec la vitesse de détente.

D'autres séries d'expériences ont montré que plus la température de la paroi était élevée, plus le rendement lui-même augmentait ; la cause est

dans ce fait que les échanges de chaleur sont proportionnels à l'écart des températures des gaz et de la paroi.

Composition du mélange (en vol.).	Vitesse de détente	Utili- sation %/o	Durée de l'explo- sion
1 v. de gaz d'éclairage 9,4 air.	0,25	1,2	0 ^s ,48
" " "	0,45	1,7	0,31
" " "	0,92	2,1	0,25
1 v. gaz éclairage + 9,4 air	1,42	2,6	0,16
1 v. CO + 3,2 air.	1,30	3,0	0,17
1 v. gaz " + 6,33 air.	1,70	2,7	0,15
1 v. CO + 2,675 air.	2,15	4,0	0,12
1 v. gaz " + 6,33 air.	2,60	5,4	0,07
1 v. CO + 2,215 air.	3,10	5,5	0,08
" " " .	3,70	6,6	0,07
1 v. gaz + 6,33 air.	4,30	7,9	0,06
" " " .	4,80	9,3	0,06
1 v. CO + 1,625 air.	6,40	8,3	0,04

CHAPITRE IV

DES DIFFÉRENTS MÉLANGES TONNANTS

Les différents combustibles employés dans les moteurs sont : le *gaz d'éclairage* ou d'autres gaz obtenus par distillation, le *gaz à l'eau*, les *gaz pauvres*, l'*acétylène*, l'*air carburé*.

15. Gaz d'éclairage. — Le gaz d'éclairage obtenu par distillation de la houille ou d'autres matières, a une composition très variable. Elle dépend à la fois de la nature de la houille, de la conduite de la distillation, des procédés d'épuration employés, et varie pendant le cours d'une même fabrication.

C'est un mélange, en proportions variables, de gaz dont les principaux sont : l'hydrogène, l'oxyde de carbone, le formène, l'éthylène, l'azote.

Nous adopterons d'après M. Witz la composition moyenne suivante :

Nature des gaz	Composition	
	en poids	en volume
Hydrogène	1005 ^r	1.116 ^l ,0
Oxyde de carbone	150	119,6
Azote	100	79,6
Formène (C ² H ⁴).	490	683,3
Ethylène (C ⁴ H ⁴) et Benzine.	130	103,6
Carbures divers.	30	12,0
	1,000	2,155 ^l ,1

En parlant des chaleurs de combustion de ces différents éléments, il est facile de trouver que la chaleur dégagée par la combustion de 1 kilogramme de gaz est de 11 676 calories, ou celle de 1 mètre cube de 5 520. Ces chiffres supposent que les produits de la combustion sont ramenés à 0° et l'eau à l'état liquide.

Si nous supposons, ce qui est le cas des moteurs à gaz, que l'eau reste à l'état de vapeur, la chaleur de combustion de 1 kilogramme de gaz ne devra plus être évaluée qu'à 9 989 calories.

Le volume d'oxygène nécessaire pour la combustion est de 2369^l,2 ; la quantité d'air correspondante est 11 282 litres, soit 5,4 fois le volume

COMPOSITION DES GAZ DE LA COMBUSTION DE 1^{ER} DE GAZ D'ÉCLAIRAGE

Nature des corps	Mélange à 6 vol.		Mélange à 8 vol.		Mélange à 10 vol.	
	en poids	en volume	en poids	en volume	en poids	en volume
Eau	2 ^{kg} , 2095	2739 ^l , 9	2 ^{kg} , 2095	2739 ^l , 9	2 ^{kg} , 2095	2739 ^l , 9
Acide carbonique	2, 0860	1059, 1	2, 0890	1059, 1	2, 0860	1059, 1
Azote	12, 6910	10104, 6	16, 8880	13446, 3	21, 0680	16788, 0
Oxygène	0, 4240	295, 7	1, 6970	1184, 0	2, 9700	2072, 3
TOTAL	17, 4105	14199, 3	22, 8905	18429, 3	28, 3515	22659, 3

du gaz. En général, la proportion d'air employée dans les moteurs est un peu plus forte, de façon à assurer autant que possible une combustion complète.

Nous donnons à la page précédente la composition de gaz qui résultent de la combustion de 1 volume de gaz d'éclairage avec 6, 8, et 10 volumes d'air.

Pour déterminer la température de combustion, nous chercherons d'abord la chaleur spécifique moyenne du mélange, en nous servant des chaleurs spécifiques des éléments qui ont été données plus haut. On obtiendra ainsi pour le mélange à 6 volumes d'air

$$c_v = 0,172 + 0,0000492 T$$

d'autre part, la chaleur disponible est par kilogramme $\frac{9989}{17,41} = 573^c,75$.

La valeur T sera alors donnée par l'équation :

$$(T - 288^c) (0,172 + 0,0000492 T) = 573,75.$$

On en tire $T = 2298$; la racine négative n'a évidemment aucun rapport avec la question.

Pour calculer la pression maxima, en supposant, bien entendu, que la combustion ait

Composition du mélange	a	δR	R	$\frac{AR}{a}$	$\frac{\delta R}{a}$	T	P	Q
Mélange à 6 vol.	0,172	0,0000492	30,87	0,422	0,00057	2298 ^o	7 ^{atm} ,62	573 ^o ,75
// à 8 vol.	0,169	0,0000423	30,48	0,423	0,00050	1933	6, 50	436, 50
// à 10 vol.	0,167	0,0000382	30,25	0,426	0,00046	1720	5, 719	352, 30

lieu à volume constant, et que nous partions d'un mélange à la pression atmosphérique, nous remarquerons que le volume total avant la combustion était de 14 805^l, et que, à la même température, les gaz qui résultent de la combinaison n'occuperaient plus que 14199^l,3. En tenant compte de cette contraction, nous trouverons que si la pression était au début de 1^{atm}, elle devient

$$p = \frac{14\ 199,3}{14\ 805} \times \frac{2\ 292}{288} = 7^{\text{atm}},62.$$

En faisant les mêmes calculs pour les mélanges à 8 vol. et 10 vol., nous pourrions former le tableau ci-contre.

Ce tableau est relatif à un mélange sans compression préalable. Dans le cas où le mélange est comprimé avant l'explosion, les chiffres relatifs à la pression finale seront différents.

Dans le cas d'une compression isothermique, la température maxima ne variera pas et la pression sera celle du tableau multipliée par le rapport de compression.

Pour le cas de la compression adiabatique, nous avons calculé les valeurs de P et T en supposant, ce qui, vu la faible compression généralement employée, ne donne pas lieu à erreur bien sensible, que la pression et la température en fin de compression étaient données par les formules usuelles

$$pv^\gamma = c^{te} \quad \frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \text{ avec } \gamma = 1,425$$

Nous obtenons ainsi les tableaux suivants :

TEMPÉRATURE MAXIMA

Composition du mélange	Compression isothermique	Compression adiabatique		
		3 atm.	5 atm.	7 atm.
Mélange à 6 vol.	2298	2390	2435	2480
" à 8 vol.	1933	2090	2153	2170
" à 10 vol.	1720	1875	1920	1979

PRESSION MAXIMA

Composition du mélange	Compression isotherm.			Compression adiab.		
	3 atm.	5 atm.	7 atm.	3 atm.	5 atm.	7 atm.
Mélange à 6 vol.	22,86	38,10	53,34	17,20	25,15	32,40
" à 8 vol.	19,50	32,50	45,50	15,10	22,35	28,60
" à 10 vol.	17,16	28,59	40,02	13,40	19,80	25,80

Si, au lieu de produire le gaz par distillation de la houille, nous l'obtenons par l'emploi d'autres matières, bois, tourbe, huiles minérales, etc., nous obtiendrons des produits de composition différente de celle du gaz type. Il est facile de prévoir, d'après les tableaux précédents, comment ces gaz se comporteront. Si nous employons un gaz riche en produits combustibles, nous pourrons augmenter et la température et la pression maxima ; le contraire aura lieu pour un gaz moins riche.

16. Gaz pauvres. Gaz à l'eau. — Les produits désignés sous ces noms proviennent, soit de la combustion incomplète de la houille, de l'anthracite ou du coke, soit de la réaction, sur ces matières portées à l'incandescence, de la vapeur d'eau, soit enfin de ces deux causes réunies. La composition de ces gaz est encore beaucoup plus

variable que celle du gaz d'éclairage. Voici la composition de quelques-uns d'entre eux :

Nature des gaz	Gaz Strong (M. Moore)	Gaz Lowe (M. Remsen)	Gaz Dowson (M. Forster)
H.	53	30	18,73
CO	35	28	25,07
Carbures	4	34	0,62
Gaz inertes	8	8	55,58

Nous n'allons examiner, parmi ceux-ci, que le plus employé, le gaz Dowson.

Voici, d'après M. Foster, la composition d'un gaz Dowson obtenu avec de l'anthracite de Swansea :

Nature des gaz	en volumes	en poids
H.	187,3	16gr,78
CO	250,7	314,38
C ² H ⁴	3,1	2,22
C ⁴ H ⁴	3,1	3,88
Az	489,8	615,18
CO ²	65,7	129,43
O.	0,3	0,43
	1000 ^l	1082gr,30

Son poids spécifique est de 1,082, sa densité

par rapport à l'air 0,833. La chaleur de combustion, calculée d'après les chaleurs de combustion élémentaires (les gaz ramenés à 0° et l'eau à l'état liquide) est de 1432 calories par mètre cube; en supposant, comme nous l'avons fait précédemment, que l'eau reste à l'état de vapeur, nous avons pour chaleur de combustion 1322 calories par mètre cube ou 1220 par kilogramme.

La quantité d'oxygène nécessaire pour la combustion de 1 mètre cube est de 234^l,8 correspondant à 1 118 litres d'air.

Voici la composition des gaz brûlés par le mélange de 1 volume de gaz Dowson avec 1,2, 2 et 3 volumes d'air.

COMPOSITION DES GAZ DE LA COMBUSTION DE
1^{m3} DE GAZ DOWSON

Nature des corps	Mélange à 1v,2		Mélange à 2v		Mélange à 3v	
	en poids	en volume	en poids	en volume	en poids	en volume
HO . . .	261,50	200,10	261,50	200,10	261,50	200,10
CO ² . .	641,66	325,70	641,66	325,70	641,66	325,70
Az . . .	1806,99	1438,64	2601,43	2071,20	3490,55	2861,90
O. . . .	23,73	16,56	263,67	184,00	563,60	393,30
	2633,82	1981,00	3668,26	2781,00	4961,31	3781,00

En calculant, comme nous l'avons fait pour les mélanges relatifs au gaz d'éclairage, les coefficients de l'équation des gaz, la chaleur disponible par kilogramme, la température et la pression maxima, nous pourrons former le tableau ci-contre.

Nous obtiendrons, comme précédemment, les tableaux relatifs à la température et la pression explosive dans le cas des compressions adiabatique et isothermique. Voici ce dernier :

Composition du mélange	Valeur des coefficients					Chaleur disponible Q	T	P
	a	$\frac{GR}{a}$	R	$\frac{AR}{a}$	$\frac{GR}{a}$			
Mélange à 1 ^v ,2.	0,1643	0,00005325	30,25	0,433	0,000324	4639,1	2009°	6atm,26
" à 2 ^v	0,1633	0,00004408	29,98	0,432	0,000270	322,6	1681	5,45
" à 3 ^v	0,1623	0,00003793	29,60	0,429	0,0002337	245,7	1425	4,67

TABLEAU RELATIF AU TRAVAIL DES GAZ AVEC
COMPRESSION ISOTHERMIQUE

Composition du mélange	Température maxima	Pression maxima pour une compression de :		
		3 atm.	5 atm.	7 atm.
Mélange à 1 ^v ,2 . . .	2000°	18 ^{atm} ,78	31,30	43,82
// à 2 ^v . . .	1681	16, 65	27,25	38,15
// à 3 ^v . . .	1425	13, 81	23,35	32,69

Nous voyons que tous les chiffres des tableaux relatifs au gaz Dowson sont tout à fait comparables à ceux que nous avons obtenus pour le gaz d'éclairage et que, par conséquent, nous pourrions alimenter à volonté un moteur avec l'un ou l'autre de ces gaz, en modifiant simplement le dosage. Nous arriverions à la même conclusion avec tous les gaz à l'eau ou gaz pauvres.

17. Acétylène. — L'acétylène est un gaz de densité 0,92 ; le poids du mètre cube est donc de 1^{kg},189. Sa formule chimique est C²H².

La quantité de chaleur dégagée par la combustion de 1 kilog. de ce gaz est de 12 345 calories ou celle de 1 mètre cube, de 14 678, les produits de la combustion supposés ramenés à 0° et l'eau à l'état liquide.

Dans le cas des moteurs à gaz, où l'eau reste à l'état de vapeur, la chaleur de combustion devra être ramenée à 11 929 calories pour le kilogramme, à 14 183 pour le mètre cube.

Le volume d'oxygène nécessaire pour la combustion complète est de 2,5 fois le volume de l'acétylène; la quantité d'air correspondante est de 13,5 fois son volume.

La composition des gaz qui résultent de 1 kilogramme de gaz acétylène

Nature des corps	Mélange à 20 vol.		Mélange à 26 vol.		Mélange à 32 vol.	
	en poids	en volume	en poids	en volume	en poids	en volume
Eau	0 ^{kg} , 6921	860 ^{lit} , 8	0 ^{kg} , 6921	860 ^{lit} , 8	0 ^{kg} , 6921	860 ^{lit} , 8
Acide carbonique	3, 3, 80	1713, 1	3, 3, 80	1713, 1	3, 3, 780	1713, 1
Azote	16, 7044	13300, 3	21, 7154	17290, 3	26, 7268	21280, 3
Oxygène	1, 9749	1385, 2	3, 4884	2441, 4	5, 0019	3497, 6
TOTAUX	22, 7494	17259, 4	29, 2739	22305, 6	35, 7988	27351, 8

Composition du mélange	Valeur des coefficients					Chaleur disponible Q	T	P
	α	δR	R	$\frac{AR}{\alpha}$	$\frac{\delta R}{\alpha}$			
Mélange à 20 ^v	0,1695	0,0000252	28,80	0,433	0,000148	524,85	2537	8 ^{kg} ,65
"	0,1685	0,0000244	28,84	0,402	0,000145	407,49	2139	7,30
"	0,1680	0,0000236	28,93	0,405	0,000141	333,11	1860	6,37

avec 20, 26, 32 volumes d'air est donnée dans le tableau de la p. 59.

En calculant comme précédemment, les coefficients de l'équation des gaz, la chaleur disponible, la température et la pression maxima nous obtiendrons les tableaux des p. 60 et 61.

En comparant ces tableaux aux précédents, nous verrons que, à compression égale, le moteur à acétylène doit être plus puissant que le moteur à gaz. Si nous rapprochons ce fait, que la vitesse de propagation de la flamme est considérablement plus grande dans le mélange d'acétylène et d'air

que dans les autres mélanges étudiés, de ce que, pour le mélange à 13,5 volumes d'air, la pression s'élève pour une compression initiale de 5 atmosphères à 48 atmosphères, on comprendra qu'il est indispensable, comme l'a constaté expérimentalement M. Ravel, pour éviter des chocs violents dans un moteur à acétylène, de diminuer par une dilution assez grande, soit avec de l'air, soit avec une portion des gaz brûlés, à la fois la pression maxima et la vitesse de propagation de la flamme.

TRAVAIL DES GAZ AVEC COMPRESSION ISOTHERMIQUE

Composition du mélange	Tempé- rature maxima	Pression maxima pour une compression de		
		3A ^t	5A ^t	7A ^t
Mélange à 20v	2537	25,95	45,25	60,55
// 26v	2139	21,90	36,50	51,10
// 32v	1860	19,11	31,85	44,59

18. Air carburé. — Le degré de carburation de l'air employé dans les moteurs pouvant varier à volonté pendant le fonctionnement, il n'est pas utile de former les tableaux y relatifs; ils exigeraient d'abord la définition des

liquides et du mode de carburation employés. On obtiendrait d'ailleurs des résultats absolument comparables à ceux obtenus précédemment.

CHAPITRE V

PARALLÈLE ENTRE LES DIFFÉRENTS MOTEURS

19. Comparaison des moteurs à air et à gaz. — Dans un moteur thermique, à gaz ou à air chaud, un certain volume de gaz, à une pression et à une température convenables, vient agir sur un piston et produire du travail par le déplacement de celui-ci. Nous avons donc, pour assurer le fonctionnement de la machine, à rechercher le mode le plus sûr et le plus économique pour la compression de l'air ou des gaz et pour leur échauffement.

Les différentes machines du deuxième et du troisième genres, moteurs à air chaud et moteurs à gaz tonnant, se distinguent par les procédés employés pour produire la compression et l'échauffement.

Tantôt la compression de l'air sera obtenue par des moyens mécaniques : une pompe qui peut, d'ailleurs, et c'est le cas le plus fréquent, être constituée par le cylindre moteur lui-même, vient aspirer l'air atmosphérique et l'amener à la pression voulue. Cette compression pourra se faire, soit, comme dans la plupart des moteurs, adiabatiquement, soit à l'aide d'artifices particuliers, à température constante; par le rapprochement des formules du Chap. II, il est évident que, dans le second cas, nous aurons à dépenser, pour amener un même poids d'air à la même pression, un travail plus faible.

Tantôt, au contraire, nous élèverons la pression de l'air en même temps que sa température par le seul effet de la chaleur. Enfermons, par exemple, dans une enceinte, de l'air, et échauffons-le, sa pression va croître et nous aurons ainsi l'air comprimé nécessaire à la marche d'un moteur.

C'est le cas de la machine à air chaud de Lemoigne, c'est aussi celui des moteurs sans compression.

Nous remarquerons à ce sujet que le rendement mécanique d'une machine (nous entendons ici le rapport du travail produit au volume

du cylindre, qui représente à une constante près l'inverse du poids de machine par cheval), augmente, toutes choses égales d'ailleurs, avec la pression de régime. Dans ces dernières machines, la pression maxima sera forcément plus faible que dans les premières, à température maxima égale; par conséquent, le rendement mécanique sera fatalement plus faible, et ce point, s'il n'a pas une importance de premier ordre pour des machines à terre, est la raison principale pour laquelle ces machines ne seront jamais employées à bord des navires ou sur des locomotives.

Le deuxième point qui vient différencier les machines à air, est le mode d'emploi du combustible.

Dans les unes, la source de chaleur est formée par un foyer, à l'air libre, chauffant extérieurement une enceinte métallique fermée, qui contient de l'air. Nous savons que pour les chaudières à vapeur, où le chauffage est analogue, la perte sur le combustible, due à la production des gaz chauds, des escarbilles, etc., atteint au minimum 33 %. A ces causes de perte, qui sont les mêmes ici, viennent s'en ajouter d'autres, dues à la faible conductibilité calorifique des gaz. De ce fait, en effet, la différence entre la

température de la paroi interne de l'enceinte et la température moyenne de l'air à l'intérieur sera plus grande que pour une chaudière où la chaleur se transmet à l'eau, et par conséquent la quantité de chaleur passant par mètre carré de la surface de chauffe sera plus faible, à moins que la paroi extérieure ne soit maintenue à une température plus élevée, partant les gaz de la cheminée plus chauds.

Dans d'autres, l'air, après avoir été comprimé, vient passer sur le foyer qui est alors intérieur. Dans ce cas le cylindre moteur reçoit les produits de la combustion et la perte de 33 % spéciale aux moteurs précédents est disparue ; ils ont donc de ce fait une supériorité assez importante.

Le troisième mode de chauffage est spécial aux moteurs à gaz tonnant. L'échauffement des gaz n'a lieu qu'après la fin de l'admission au cylindre moteur, il est, de plus, instantané et la pression monte alors assez fortement. Il est facile de voir que le rendement doit être supérieur à celui des machines précédentes.

Supposons en effet que le compresseur de chacune de ces machines fournisse, en dépensant un travail B , un poids π d'air à la pression p . Dans la première machine cette quantité d'air sera portée, à pression constante, à une tempéra-

ture de 300° environ ; par exemple, la quantité de chaleur dépensée sera

$$\pi \times c_p \times 300.$$

Le travail que donnera cette masse d'air se détendant jusqu'à la pression atmosphérique sera

$$\mathfrak{E} = \frac{R \times 273}{0,41} \left(1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{0,29} \right).$$

Dans la seconde machine nous portons de même les gaz à la température de 300° ; vu la presque instantanéité de l'explosion, nous pouvons admettre que l'échauffement a lieu à volume constant ; la chaleur dépensée est

$$\pi \times c_v \times 300^{\circ}$$

la pression est devenue

$$p_1 = p \frac{573}{273} = 2,1 p.$$

Le travail disponible, pour une détente conduite encore jusqu'à la pression atmosphérique sera

$$\mathfrak{E}' = \frac{273R}{0,41} \left(1 - \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{0,29} \right)$$

Le rendement est, dans le premier cas

$$\rho_1 = \frac{\frac{273R}{0,41} \left(1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{0,29} \right) - B}{300R\pi c_p}$$

dans le second

$$\rho_2 = \frac{\frac{273R}{0,41} \left(1 - \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{0,29} \right) - B}{300 E\pi c_v}$$

leur rapport est

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{c_v \left(1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{0,29} - 0,41B \right)}{c_p \left(1 - \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{0,29} - 0,41B \right)}$$

or il est visible que

$$\frac{c_v}{c_p} \times \frac{1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{0,29}}{1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{0,29} (2,1)^{0,29}}$$

est plus petit que l'unité, *a fortiori* $\frac{\rho_1}{\rho_2}$.

C'est en grande partie de ce fait que découle la supériorité théorique du moteur à gaz tonnant sur tous les autres moteurs thermiques.

Nous voyons ainsi que le mode d'échauffement employé dans les moteurs à gaz est amplement justifié, quoique la combustion du mélange à l'intérieur du cylindre moteur puisse, au premier abord, sembler fâcheuse au point de vue de la bonne marche des organes, et vienne compliquer leur graissage.

20. Classification des moteurs à gaz. — Nous pouvons ranger les moteurs à gaz tonnant dans quatre classes distinctes.

Le premier type comprendra les moteurs dans lesquels le mélange tonnant n'est pas comprimé avant l'explosion ou, pour employer l'expression consacrée, *les moteurs sans compression*.

Le deuxième type renfermera ceux pour lesquels le mélange tonnant, aspiré d'abord sous la pression atmosphérique, est porté avant l'explosion à une pression plus ou moins élevée, ou *les moteurs à compression*.

Nous rangerons dans le troisième type les *moteurs atmosphériques*, dans lesquels l'énergie contenue dans le mélange tonnant doit communiquer au piston une impulsion assez forte pour que sa force vive lui permette de créer sur la face arrière un vide partiel. La course de retour, qui seule est employée pour la production du travail, se fait sous l'influence de la pression atmosphérique agissant sur l'autre face du piston. Nous remarquerons que ce type diffère complètement des deux précédents.

Le quatrième type réunira, sous le nom de *moteurs mixtes*, les moteurs à explosion qui procèdent des différents types précédents, sans se rattacher d'une façon absolue à aucun d'eux.

Nous avons fait remarquer déjà que les *moteurs à gaz à combustion* doivent être rangés parmi les moteurs à air chaud.

21. Définition des cycles théoriques et calcul des rendements. — Dans les pages qui vont suivre, et dans le but de simplifier les calculs qui, sans cela, seraient inextricables, nous admettrons, que dans tous les cas, l'explosion du mélange tonnant dans le cylindre est instantanée et a lieu par conséquent à volume constant; nous admettrons aussi que la détente des gaz a lieu suivant une adiabatique, autrement dit nous négligerons l'influence des parois. Ces hypothèses sont inexactes, comme nous l'avons vu plus haut; nous aurons donc ensuite à examiner quelles sont, dans la pratique, les modifications à apporter aux conclusions théoriques.

Nous emploierons les notations suivantes :

- H_0 , pression atmosphérique ;
- t_0 , température de l'air extérieur ;
- P , pression maxima au moment de l'explosion ;
- T , température maxima au moment de l'explosion ;
- t , température des gaz en fin de compression ;
- p , pression des gaz en fin de compression ;
- t' , température des gaz à la fin de la détente.

Nous ferons toujours usage des températures absolues.

Nous appellerons ρ' le rendement d'un cycle de Carnot défini par les températures T et t_0 , ρ le rendement de la machine; nous désignerons par ρ_m le rapport du travail disponible au volume du cylindre. Nous nommerons, d'après M. Witz, rendement générique de la machine le rapport $\rho_1 = \frac{\rho}{\rho'}$. Comme il le fait très justement remarquer, ρ_1 est la caractéristique du degré de perfection atteint par une machine, et une valeur de ρ_1 voisine de l'unité indique que la machine a atteint toute la valeur qu'elle est susceptible d'acquérir.

22. Moteurs du premier type. — Dans les moteurs à explosion sans compression, le mélange tonnant est aspiré sous la pression atmosphérique par le piston, pendant une partie de sa course. En un point de celle-ci, convenablement choisi, les organes qui ouvraient à l'admission du mélange, interceptent la communication avec l'extérieur et l'explosion est provoquée par un quelconque des moyens que nous étudierons plus loin. La pression qui était d'abord H_0 monte à la valeur P , et les gaz viennent pousser en avant le piston en se détendant suivant une adia-

batique ; à la fin de la course, alors que la pression est redevenue presque égale à la pression atmosphérique, la communication est rétablie avec l'air extérieur, et pendant la course de retour les produits de la combustion sont expulsés. Le cycle est donc complet en deux courses, sur lesquelles une fraction de course seulement est motrice. Nous pourrions concevoir un moteur du premier type dans lequel la pression en fin de course serait supérieure à la pression atmosphérique. Dans ce cas, comme nous devrions néanmoins laisser échapper les gaz dans l'atmosphère, toute l'énergie correspondant à leur pression effective serait perdue, et le moteur aurait un rendement économique plus faible. Par contre, il est vrai, la surface du diagramme pourrait être augmentée et, par suite, le rendement mécanique. Ce point a d'ailleurs peu d'importance pour les moteurs de ce type. Si, au contraire, la pression en fin de course était inférieure à la pression atmosphérique, comme l'échappement aurait toujours lieu à cette pression, le rendement ne varierait pas théoriquement, de ce fait. Pratiquement, la course du piston étant trop longue, nous aurions une perte par suite des frottements plus considérables, et une perte aussi sur la surface du diagramme.

Pour ces raisons nous n'étudierons que le cas où la pression en fin de course est Π_0 .

Soient Q , la quantité de chaleur dégagée par la combustion ; c_v , la chaleur spécifique moyenne volume constant de 0 à T des produits de la combustion, nous aurons :

$$Q = c_v (T - t_0) \quad \text{avec } c_v = a + \frac{1}{2} bRT.$$

À la fin de la détente la température des gaz n'est plus que t' , la variation de l'énergie interne est donc :

$$(T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t') \right)$$

et le rendement

$$\rho = \frac{(T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t') \right)}{c_v (T - t_0)}.$$

Le rendement correspondant du cycle de Carnot

$$\rho' = \frac{T - t_0}{T}$$

et le rendement mécanique

$$\rho_m = \frac{\delta v_0 (T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t') \right)}{v'}$$

la valeur de t' se déduira de celle de T par la formule de détente adiabatique.

Le rendement générique

$$\rho_1 = \frac{\rho'}{\rho} = \frac{T(T - t') \left(\alpha + \frac{\gamma R}{2} (T + t') \right)}{c_v (T - t_0)^2}.$$

23. Moteurs du deuxième type. — Dans les moteurs du 2° type, le mélange tonnant est porté avant l'explosion à une certaine pression p . Dans le cas le plus général cette compression a lieu adiabatiquement et le mélange est porté par le fait même de sa compression, à une température t supérieure à t_0 . Nous pouvons aussi, pendant la compression préalable, refroidir le mélange de façon à maintenir, par exemple, sa température à la valeur t_0 ; nous avons vu que, dans ce cas, le travail de compression était notablement moindre. Nous examinerons successivement ces deux cas :

1° Compression préalable adiabatique.

Nous pouvons, pour simplifier les calculs relatifs à la compression, l'élévation de température étant toujours très faible, ne pas tenir compte de la variation de la chaleur spécifique.

Travail de compression :

$$\varepsilon_1 = \frac{p_0 v_0}{K-1} \left[1 - \left(\frac{v_0}{v} \right)^{K-1} \right] = \frac{c_v (t - t_0)}{\Lambda}$$

avec

$$\frac{t}{t_0} = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{0,29}$$

la chaleur de combustion est $Q = c_v (T = t)$ où nous donnons à c_v sa valeur, fonction de la température.

La chaleur disparue sera en fin de détente

$$(T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t') \right)$$

mais une quantité $c_v (t - t_0)$ a été employée en travail de compression ; ici c_v a sensiblement la valeur du coefficient a , nous aurons donc :

$$\rho = \frac{(T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t') \right) - a (t - t_0)}{\left(a + \frac{bR}{2} (T + t) \right) (T - t)}$$

le rendement mécanique sera donné par

$$\rho_m = \frac{\delta v_0}{v'} \left[(T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t') \right) - a (t - t_0) \right]$$

avec

$$\frac{v_0}{v'} = \frac{t_0}{t'}$$

2° Compression préalable isothermique.

En opérant comme précédemment, nous trouverons :

Travail de compression

$$\varepsilon_2 = p_0 v_0 \log \text{nép} \frac{v}{v_0}.$$

Chaleur fournie

$$Q = c_v (T - t_0).$$

Chaleur disparue

$$(T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t') \right),$$

$$\rho = \frac{(T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t') \right) - ARt_0 \log \text{nép} \frac{v_0}{v}}{\left(a + \frac{bR}{2} (T + t_0) \right) (T - t_0)}$$

$$\rho' = \frac{T - t_0}{T}$$

$$\rho_m = \frac{\partial t_0}{t'} \left[(T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t) \right) - ARt_0 \log \text{nép} \frac{v}{v_0} \right].$$

24. Moteurs du troisième type ou moteurs atmosphériques. — Dans ce type de moteurs, l'énergie du mélange tonnant est employée à refouler l'air atmosphérique et à créer

un vide partiel derrière le piston ; pendant la course de retour, le travail dépensé sera restitué par l'effet de la pression atmosphérique et pourra être utilisé.

Nous pourrons faire ce moteur sans compression préalable, avec compression préalable isothermique ou adiabatique.

1° Moteur sans compression.

Nous trouverons successivement :

Chaleur fournie

$$Q = c_v (T - t_0).$$

Chaleur disparue

$$(T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t') \right).$$

Rendement économique

$$\rho = \frac{(T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t') \right)}{\left(a + \frac{bR}{2} (T + t_0) \right) (T - t_0)}.$$

Rendement mécanique

$$\rho_m = \delta \frac{v_0}{v} (T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t') \right).$$

2° Moteur atmosphérique à compression adiabatique.

Travail de compression

$$\varepsilon_1 = \frac{a}{A} (t - t_0) \quad \text{avec} \quad \frac{t}{t_0} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{0,29}$$

Chaleur dépensée

$$Q = \left(a + \frac{bR}{2} (T + t_0)\right) (T - t_0).$$

Chaleur disparue

$$Q' = \left(a + \frac{bR}{2} (T + t')\right) (T - t').$$

Rendement économique

$$\rho = \frac{(T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t')\right) - a(t - t_0)}{(T - t_0) \left(a + \frac{bR}{2} (T + t_0)\right)}.$$

Rendement mécanique

$$\rho_m = \delta \frac{v_0}{v} \left[\left(a + \frac{bR}{2} (T + t')\right) (T - t') - a(t - t_0) \right].$$

3° Moteur atmosphérique à compression isothermique.

Travail de compression

$$\varepsilon_2 = p_0 v_0 \log \text{nép} \frac{v}{v_0}.$$

Chaleur fournie

$$Q = \left(a + \frac{bR}{2} (T + t_0)\right) (T - t_0),$$

Chaleur disparue

$$Q' = \left(a + \frac{\delta R}{2} (T + t') \right) (T - t').$$

Rendement économique

$$\rho = \frac{(T - t') \left(a + \frac{\delta R}{2} (T + t') \right) - AR t_0 \log \text{nép} \frac{v}{v_0}}{\left(a + \frac{\delta R}{2} (T + t_0) \right) (T - t_0)}.$$

Rendement mécanique

$$\rho_m = \delta \frac{v_0}{v'} \left[(T - t') \left(a + \frac{\delta R}{2} (T + t') \right) - \right. \\ \left. - AR t_0 \log \text{nép} \frac{v}{v_0} \right].$$

Pour les moteurs des deux premiers types nous avons vu que, l'évacuation devant avoir lieu en fin de course, nous devons pousser la détente de façon à ramener les gaz à la pression atmosphérique en ce point. Pour les moteurs atmosphériques nous devons pousser la détente autant que possible, et nous n'avons de limite qu'au point de sa course où le piston s'arrête sous l'influence de la pression atmosphérique, point qui dépendra de la force vive emmagasinée dans le piston. Les équations suivantes permettent de se rendre compte de ce qui se produit dans le

fonctionnement de ces moteurs. Le travail résistant est $p_0(v' - v_0)$ et c'est à cette quantité que nous devons évaluer le travail recueilli

$$Ap_0(v' - v_0) = (T - t') \left(a + \frac{bR}{2} (T + t') \right)$$

avec

$$\frac{pv}{T} = \frac{p_0v_0}{t_0} = \frac{p'v'}{t'} = R$$

$$\left(\frac{p'}{p} \right)^a \left(\frac{v'}{v} \right)^a + AR = e^{bR(T - t')}.$$

La température T nous sera donnée quand nous connaissons la composition du mélange.

Dans le cas où le moteur fonctionne sans compression, on a évidemment

$$p_m = \frac{Rp_0v_0\delta(v' - v_0)}{v_0v'} = Rp_0\delta \left(1 - \frac{v_0}{v'} \right).$$

Nous voyons sous cette forme qu'il y a intérêt à prolonger la détente autant que possible et, par conséquent, à augmenter la température T . Nous voyons en plus que, toutes choses égales d'ailleurs, nous avons intérêt à employer un mélange lourd. Un facteur très important est la quantité p_0 ou la pression qui s'exerce sur la face libre. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce point.

CHAPITRE VI

RENDEMENT DES DIFFÉRENTS CYCLES

25. Tableaux de comparaison. — Nous avons vu dans le chapitre précédent quelles étaient les valeurs théoriques des rendements des différents cycles. Nous allons maintenant en calculer les valeurs numériques, en nous servant des données du Chap. IV. Nous ne nous occuperons que des trois mélanges de gaz d'éclairage précédemment étudiés; d'après ce que nous avons vu, les résultats obtenus pour le gaz à l'eau et l'air carburé seront tout à fait comparables.

Nous avons à chercher tout d'abord à quelle température les gaz sortiront des moteurs. Nous nous servirons pour cela de l'équation :

$$\frac{p'}{p} \left(\frac{v'}{v} \right)^{\frac{a + AR}{a}} = e^{\frac{bR}{a} (T - t')}.$$

Pour les moteurs des deux premiers types,

nous supposerons que la détente est poussée jusqu'à la pression atmosphérique. Pour les moteurs atmosphériques, nous admettrons que le piston s'arrêtera lorsque le travail extérieur, compté d'après l'action de la pression atmosphérique seule, sera égal au travail développé par la détente du gaz. Il est certain que cette limite variera avec le mode de construction plus ou moins soignée de la machine et surtout avec la masse du piston. Pour ce moteur, la compression préalable, quand elle est employée, devant être faite dans un cylindre séparé, nous avons évidemment intérêt à employer la compression isothermique.

Nous obtiendrons ainsi le tableau de la p. 83.

A l'aide des chiffres de ce tableau nous pouvons calculer les valeurs des différents rendements qui sont inscrits dans le tableau de la p. 84.

Les chiffres du rendement mécanique ont été obtenus par comparaison avec le moteur du 2^e type à compression de 3 atmosphères avec le mélange à 8 volumes, auquel on a attribué le chiffre 100 ; ces chiffres ne donnent par conséquent que des points de comparaison.

Nous constatons, sur ces tableaux, ce fait reconnu depuis longtemps, que les moteurs à compression préalable l'emportent de beaucoup sur

TABLEAUX DE COMPARAISON

TEMPÉRATURE D'ÉVACUATION DES GAZ

Composition du mélange	Premier type	Deuxième type						Troisième type			
		Compression adiabatique			Compression isotherm.			sans compression	Compression isotherm.		
		3atm	5atm	7atm	3atm	5atm	7atm		3atm	5atm	7atm
Mélange à 6v.	1631	1475	1407	1365	1335	1186	1123	1248	887	734	676
" à 8v.	1370	1251	1197	1146	1084	975	905	905	658	570	487
" à 10v.	1200	1105	1044	1020	940	835	772	772	620	534	456

RENDEMENT ÉCONOMIQUE DES DIFFÉRENTS CYCLES

Composition du mélange	Premier type	Deuxième type						Troisième type			
		Compression adiabatique			Compression isotherm.			sans compression	Compression isotherm.		
		3atm	5atm	7atm	3atm	5atm	7atm		3atm	5atm	7atm
Mélange à 6°.	0,384	0,550	0,590	0,617	0,520	0,592	0,620	0,605	0,720	0,781	0,804
" à 8°.	0,378	0,553	0,592	0,623	0,536	0,602	0,640	0,656	0,765	0,788	0,814
" à 10°.	0,377	0,558	0,593	0,630	0,562	0,628	0,665	0,610	0,733	0,752	0,780
RENDEMENT MÉCANIQUE DES DIFFÉRENTS CYCLES											
Mélange à 6°.	21,4	122	130	187	135	176	224				
" à 8°.	16,5	100	123	142	112	141	182				
" à 10°.	15,5	87	105	121	103	130	166				

les moteurs sans compression. Ce fait est vrai pour les moteurs atmosphériques à compression préalable, aussi bien que pour les moteurs ordinaires.

Nous voyons qu'il est avantageux d'employer une forte compression, et que la compression isothermique présente une économie appréciable, qu'il y a lieu, il est vrai, de mettre en balance avec une complication un peu plus grande que pour la compression adiabatique.

De ces tableaux, nous pouvons déduire la consommation théorique de gaz par cheval-heure. Prenons, par exemple, le mélange de 1 volume de gaz avec 8 volumes d'air et comparons les consommations théoriques aux consommations pratiques des meilleurs moteurs de chaque type. Nous aurons, en prenant pour le pouvoir calorifique du gaz 5 520 calories :

Nature du moteur	Consommation en litres par cheval-heure		Rapport de ces deux quantités
	théorique	pratique	
Sans compression	321 ^l	2000	0,16
2 ^e type. Compression 3 ^{atm}	220	700	0,37
Moteur } sans compr.	177	650	0,27
atmosphérique } comp. 3 ^{atm}	151	''	''

Nous voyons que les moteurs du 3^e type à compression devraient être supérieurs à tous les autres.

Les moteurs du 2^e type sont actuellement ceux dont le cycle est le mieux réalisé ; c'est le moteur sans compression qui donne à cet égard les plus mauvais résultats ; non seulement son cycle est moins avantageux, mais en outre il est très mal réalisé. Le moteur Otto et Langen, le seul moteur atmosphérique qui ait réellement fonctionné, a une consommation meilleure que les moteurs du 2^e type, mais le fonctionnement mécanique de la machine laisse fort à désirer.

26. Causes d'abaissement des rendements. — Nous avons vu par le tableau précédent que le rendement pratique était notablement inférieur au rendement calculé. Nous avons à rechercher les causes de cette différence, pour y porter remède s'il y a lieu.

Quand nous avons étudié (Chap. V), les différents cycles des moteurs, nous avons admis certaines hypothèses qui, vraisemblables en théorie, sont loin d'être réalisées dans la pratique ; nous les rappelons ici :

1^o L'explosion est instantanée et a lieu par suite à volume constant ;

2^o La détente ramène les gaz à la pression at-

mosphérique, pour les moteurs des deux premiers types ;

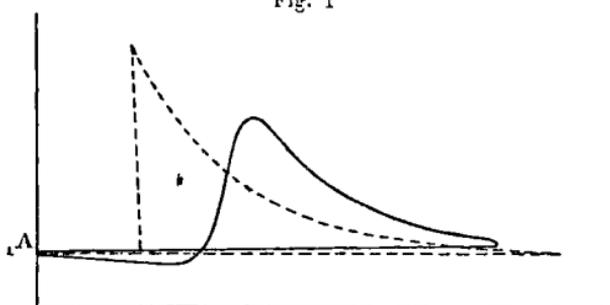
3° Il n'y a pas d'action de parois, ni de perte de chaleur vers l'extérieur ;

4° La combustion est complète ;

5° La pression sous le piston, dans la course d'aspiration du mélange et dans la course d'expulsion des gaz brûlés, est égale à la pression atmosphérique.

Ce que nous avons vu précédemment peut

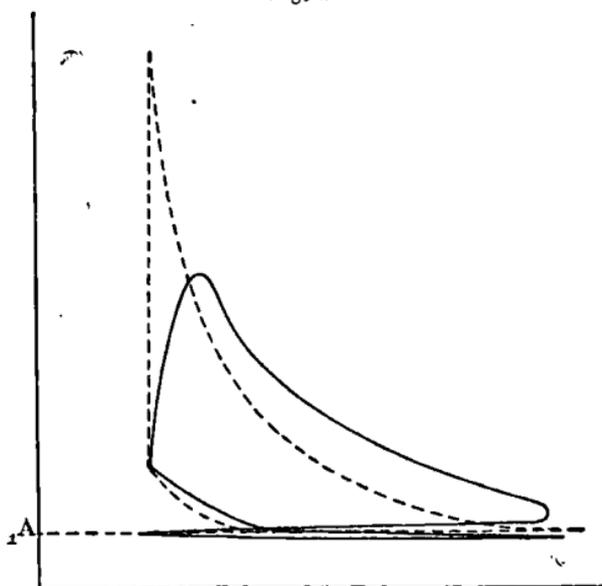
Fig. 1



nous indiquer que ces deux hypothèses ne seront pas réalisées, et si nous comparons les diagrammes relevés sur les moteurs et leurs diagrammes théoriques, nous trouvons que les premiers sont bien inférieurs aux seconds.

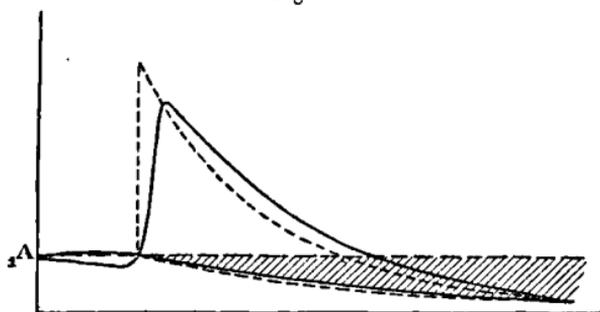
Les *fig. 1, 2 et 3* représentent : les courbes en trait plein, les diagrammes relevés sur des moteurs, les courbes en tirets, les dia-

Fig. 2



grammes théoriques des moteurs des trois types.

Fig. 3



Pour le moteur atmosphérique, la partie ombrée représente le travail que peut fournir la machine dans la course de retour.

Le diagramme relevé sur un moteur atmosphérique doit donc être traité d'une façon tout autre que ceux des autres moteurs.

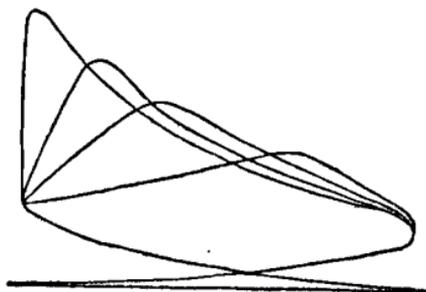
Si nous examinons successivement les cinq hypothèses admises au début, nous allons constater qu'à chacune d'elles correspond une cause de modification du diagramme prévu, partant une cause de perte de rendement.

Il résulte du fait que l'explosion n'est pas instantanée, c'est-à-dire que la vitesse d'inflammation a une valeur finie et déterminée, que, pendant la durée de la combustion, le piston se sera déplacé d'une quantité plus ou moins considérable; la combustion n'aura plus lieu à volume constant, la pression maxima sera diminuée, partant la température d'explosion et finalement le rendement. Nous reconnaitrons ce fait à ce que la courbe du diagramme, au lieu de se relever verticalement, sera plus ou moins inclinée et sera terminée par un fort arrondi. La *fig. 4* qui est relative à des diagrammes relevés sur un moteur dans lequel, soit par suite d'abaissement de la température des parois, soit par suite d'une modification du dosage, la vitesse de propagation de la flamme diminuait de plus en plus, nous montre que la courbe des pressions s'infléchit d'une façon constante et que le point

de la course où la combustion est terminée s'éloigne de plus en plus du point d'inflammation. Cette perte est très importante, mais l'influence des parois, qui d'ailleurs peut la modifier par son action sur la température du mélange, vient empêcher le diagramme de nous l'indiquer d'une façon rigoureuse.

Il n'y a pas lieu d'appliquer d'une façon

Fig. 4



intégrale ce que nous venons de dire, au moteur atmosphérique. Il faut se rappeler en effet, que dans les moteurs ordi-

naires le piston est relié d'une façon invariable à la bielle et, par celle-ci, à la manivelle ; le piston sera donc, dès le point mort, entraîné par ses liaisons mécaniques. Dans le moteur atmosphérique au contraire, le piston doit, pendant la course d'aller, être libre de toute entrave ; par conséquent ce piston ne se déplacera que lorsque la masse enflammée lui communiquera la force vive suffisante, force vive qui dépendra de sa

masse, et nous voyons qu'il peut y avoir, de ce côté, avantage à employer un piston de masse importante.

La seconde hypothèse est relative à ce fait que la pression est ramenée, en fin de course, à la pression atmosphérique. Or, si nous examinons la presque totalité des moteurs, nous verrons que la compression s'effectue dans le cylindre lui-même, et il est facile de se rendre compte que cette manière de procéder limite fatalement le rendement à une valeur bien plus faible que celle que la théorie pourrait faire espérer. Ce point nous paraît extrêmement important.

A la fin de la course d'aspiration, nous avons enfermé dans le cylindre un volume de gaz V_0 à la pression atmosphérique et à la température ordinaire ; à la fin de la période de compression, c'est-à-dire à la fin de la course de retour, cet air sera renfermé dans le volume de l'espace mort v ; nous supposons (le cas étant plus simple à traiter) que la compression a lieu à température constante : la pression sera devenue p ; aussitôt l'explosion, que nous supposons avoir lieu à volume constant, la pression sera devenue P , la température T , et ces quantités se trouvent dans les tableaux du Chap. IV.

Nous avons évidemment : compression $= \frac{V_0}{v}$.

Par suite de la disposition du moteur, la détente sera $\frac{v}{V_0}$ et les gaz chauds ne seront pas ramenés à la pression atmosphérique.

Le tableau suivant nous permet la comparaison, pour le mélange à 8 volumes d'air pour 1 volume de gaz d'éclairage, des températures des gaz au moment de l'évacuation et des rendements correspondants avec les températures et rendements théoriques précédemment trouvés :

Valeur de la compression	Compression dans le cylindre		Compression dans un cylindre séparé	
	Température d'évacuation des gaz	Rendement	Température d'évacuation	Rendement
3 Atmosphères	1504	0,290	1084	0,536
5 "	1325	0,436	975	0,602
7 "	1113	0,546	905	0,640

Le simple rapprochement des rendements nous montre la perte importante qui résulte de la compression du mélange dans le cylindre moteur. En réalité cette perte est encore plus considérable, car si nous pouvons, dans un cylindre particulier, dont les parois sont à une tempéra-

ture peu élevée, 150° environ pour la compression adiabatique, et dans lequel nous pouvons faire si nous le voulons la compression isothermique, admettre que l'air renfermé en fin d'aspiration est à la température ordinaire, il n'en est plus de même dans le cylindre moteur où la température sera fatalement plus élevée; de ce fait, la masse d'air renfermée sera plus faible que nous le supposons, par conséquent la température et la pression explosive auront une valeur plus faible, d'où une nouvelle diminution du rendement. On peut, il est vrai, pour amoindrir cette perte, ou plus exactement pour la masquer, diminuer, en étranglant les orifices, l'admission, lors de l'aspiration du mélange, mais il est visible que cette manière de procéder crée, pour la machine, un surcroît de travail correspondant à la chute de pression produite.

La troisième hypothèse est relative à l'action de paroi. Cette action que nous avons supposée nulle est, comme nous l'avons vu (Chap. III), très importante, et la perte de chaleur qui en résulte atteint le plus souvent 50 % de la chaleur dépensée. La combustion développant à l'intérieur des cylindres des températures incompatibles avec les nécessités du graissage, il est indis-

pensable de les combattre en ramenant les parois à des températures plus modérées, pour permettre le fonctionnement mécanique des appareils. C'est le rôle de l'enveloppe ou, dans de tous petits moteurs, des nervures baignées par l'air. Ce rôle nuisible mais indispensable de l'enveloppe doit être limité au strict nécessaire. Il y a lieu de remarquer que pour les moteurs atmosphériques dans lesquels la détente doit être très rapide, la perte par la paroi serait vraisemblablement plus faible; en outre, la température des gaz à la sortie étant moins élevée que dans les autres moteurs, le rôle de l'enveloppe pourrait être réduit.

Il est inutile d'insister beaucoup sur les conséquences qui résultent de ce que les deux dernières hypothèses sont inexactes. La combustion incomplète causera évidemment une perte. Il résulte d'expériences de M. Witz que la proportion des gaz non brûlés, nulle dans les cas du mélange à 6 volumes, peut atteindre 12 % dans le cas du mélange de 1 volume de gaz avec 11,6 volumes d'air.

Les contre-pressions qui, lors de l'aspiration comme lors de l'évacuation, viendront réduire la surface du diagramme, sont dues uniquement aux imperfections du mécanisme; on peut par

conséquent espérer les réduire par une construction plus soignée.

Outre l'inconvénient signalé plus loin pour les moteurs monocylindriques, il en existe un autre dû à la présence nécessaire dans ces moteurs, ce qui n'aurait pas lieu dans le cas de la compression dans un cylindre séparé, d'un espace mort qui a comme importance le tiers ou le cinquième du volume du cylindre et qui restera, en fin de course, rempli de gaz inerte qui viendra augmenter la dilution du mélange et, ce qui est plus grave, diminuer la teneur en gaz du mélange tonnant aux environs de l'allumeur.

Le Dr Otto attribue toutefois à cette dilution dans les gaz brûlés tout le succès de sa machine, succès que nous rapporterons, suivant en cela l'opinion de MM. Dugald-Clerk et Witz à la compression seule. Nous opposerons au moteur Otto à combustion retardée par dilution du mélange tonnant dans les gaz brûlés, le moteur Griffin, par exemple, où le cycle a été allongé de deux courses (aspiration et refoulement d'air pur), dans l'unique but de nettoyer complètement le cylindre des produits de la combustion, et dont le rendement est excellent.

CHAPITRE VII

DES DIFFÉRENTS COMBUSTIBLES

Les différents combustibles employés dans les moteurs sont : le gaz d'éclairage, les gaz à l'eau et gaz pauvres, l'acétylène, l'air carburé par les huiles et les essences de pétrole.

27. Gaz d'éclairage. — Le gaz de houille a, comme nous l'avons dit, une composition très variable. Cette composition varie avec la nature de la houille, la température des cornues de distillation, les procédés employés pour l'épuration. Sa composition moyenne est, d'après M. Witz :

Nature des gaz	en poids	en volumes
H	100gr	1116 ^l ,0
CO	150	119,6
Az	100	79,6
C ² H ⁴	490	683,3
C ³ H ⁴	130	103,6
Carbures divers . . .	30	12,0
	1000gr	2115 ^l ,1

La densité est de 0,36, le poids du mètre cube 473 grammes. Le volume d'air nécessaire pour la combustion est de 11 390 litres pour 1 kilogramme de gaz. Le nombre de calories dégagées par la combustion de 1 mètre cube de gaz est de 5 520, ce chiffre ne représentant d'ailleurs qu'une moyenne.

Nous n'avons pas à entrer dans le détail de la fabrication ; le seul point important est de savoir que l'épuration enlève au gaz des composés d'hydrogène et de carbone et diminue par conséquent le pouvoir calorifique. Cette épuration est nécessaire quand les gaz doivent servir à l'éclairage ; elle l'est beaucoup moins pour les gaz destinés uniquement à l'alimentation des moteurs. Il résulte d'une expérience de M. Witz qu'un gaz ayant à sa sortie du collecteur un pouvoir calorifique de 5 535 calories était tombé, après l'épuration, à 5 292. Il y aurait donc intérêt, dans le cas où une usine à gaz alimenterait exclusivement des moteurs, à restreindre l'épuration dans une forte proportion. Le pouvoir calorifique d'un gaz donné varie dans le même sens que son pouvoir éclairant.

Dans le cas où le gaz fourni par les usines est pauvre, c'est-à-dire peu éclairant, on trouve avantageux, quand il sert à l'éclairage, de l'enrichir

en le faisant passer dans un carburateur, et l'économie qui en résulte est souvent fort appréciable. Il en serait de même pour les moteurs et, dans bien des cas, il y aurait avantage à adjoindre au moteur à gaz un carburateur. L'avantage possible variera, naturellement, avec la composition et surtout avec le prix du gaz des usines, prix qui varie actuellement de 0^{fr},10 à 0^{fr},50 le mètre cube.

Le prix de revient réel du gaz, aux grandes usines, est bien inférieur à ces chiffres ; le coke et les sous-produits provenant de l'épuration ont en effet une valeur sérieuse, quand on peut leur trouver un débouché ; une usine de faible importance pourra difficilement, à part le coke, écouler les résidus dans de bonnes conditions. Il sera donc préférable, à moins que l'importance des moteurs à alimenter ou de l'éclairage à produire en même temps ne soit considérable, à recourir si on le peut au gaz des usines ; l'installation d'une usine particulière serait dans la plupart des cas plus onéreuse.

La houille est loin d'être le seul corps susceptible de fournir par la distillation un gaz propre à l'éclairage et au chauffage. On a employé avec succès le bois, la tourbe, et les huiles de pétrole.

Les moteurs « Ragot » et « Sécurité » emploient, comme combustible, du pétrole qui est vaporisé par les gaz provenant de l'échappement.

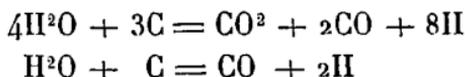
Le gaz Pintsch, dont l'emploi commence à se répandre, est obtenu par la distillation de pétrole que l'on fait couler lentement dans des cornues chauffées au rouge clair ; le gaz produit est lavé et épuré à la chaux et à la sciure de bois. Ce gaz possède un pouvoir calorifique très considérable, 20 000 calories environ par mètre cube ; il est par conséquent incomparable pour l'alimentation des moteurs.

28. Gaz à l'eau et gaz pauvre. — Ces gaz sont obtenus, non plus par une simple distillation, mais par une réaction chimique.

Si nous faisons agir à haute température l'air sur du carbone, il se produira suivant les proportions relatives des deux corps, soit de l'acide carbonique, soit de l'oxyde de carbone ; le mélange de ces deux corps avec l'azote de l'air employé, forme un gaz combustible.

Si, d'autre part, nous faisons réagir, sur le carbone à haute température, de la vapeur d'eau surchauffée, il se produira, soit de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène,

soit uniquement de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène.



Les gaz produits par la dernière réaction, auxquels on réserve le nom de gaz à l'eau, auront un pouvoir calorifique de 3 200 calories au mètre cube.

Différents procédés ont été imaginés pour utiliser ces réactions.

Dans les uns (gaz Lowe, gaz Strong), on fait passer sur le combustible, anthracite, charbon ou coke préalablement allumé, un courant d'air forcé qui porte bientôt la masse à l'incandescence; les gaz achèvent de se brûler dans une chambre en maçonnerie dont ils portent les parois au rouge blanc. A un moment donné, on arrête l'opération et on fait passer en un sens inverse un courant de vapeur qui se décompose en traversant la colonne de charbon incandescent; le gaz produit est du gaz à l'eau. Pour entretenir à l'incandescence la colonne de charbon, il est nécessaire d'interrompre de temps en temps la fabrication du gaz à l'eau et de faire passer dans l'appareil un nouveau courant d'air; on comprend par conséquent que ce gaz à l'eau

puisse contenir et de l'azote et de l'acide carbonique.

Dans d'autres procédés, on fait réagir à la fois sur le charbon, de l'air et de la vapeur, et le mélange de composition complexe qui résulte de l'opération porte le nom de gaz pauvre. Le gazogène de ce système le plus répandu est celui de M. Dowson.

Le générateur se compose d'un cylindre en tôle, garni de terre réfractaire, à l'intérieur duquel se trouve le combustible, traversé de bas en haut par un courant d'air forcé mélangé de vapeur d'eau, qui est fournie par un surchauffeur spécial ; on utilise le jet de vapeur pour produire l'entraînement de l'air. La composition des produits obtenus varie avec les proportions d'air et de vapeur introduites. On obtient ainsi un mélange contenant de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone, des carbures, de l'acide carbonique et de l'azote. Les gaz viennent traverser un barillet contenant de l'eau, puis un scrubber, où ils sont lavés en traversant une colonne de coke arrosée par un filet d'eau ; leur passage à travers une caisse remplie de sciure de bois achève l'épuration ; ils se rendent ensuite au gazomètre.

D'après une analyse de M. Foster, un gazogène alimenté par de l'antracite fournirait un

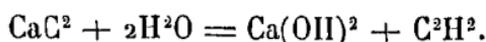
gaz ayant, en volumes, la composition suivante :

H	18,73	} en volumes
CO	25,07	
C ² H ⁴	0,31	
C ⁴ H ⁴	0,31	
Az	48,98	
CO ²	6,57	
O	0,03	

La densité serait 0,833, le pouvoir calorifique 1 432 calories par mètre cube. Le prix de revient est de 1 à 2 centimes le mètre cube.

Un moteur Crossley alimenté par du gaz Dowson est parvenu à ne consommer que 460 grammes d'anthracite par cheval.

29. Acétylène. — L'acétylène s'obtient en faisant réagir sur l'eau du carbure de calcium, suivant la formule :



Le carbure de calcium se prépare en chauffant au four électrique de la chaux et du charbon.

1 kilogramme de carbure donne, avec 560 grammes d'eau, 345 litres d'acétylène. En pratique, toutefois, il ne faut compter, vu les impuretés que l'on rencontre dans le carbure industriel, que sur une production de 300 litres par kilogramme.

Ce mode de production permet d'obtenir l'acétylène sous une pression plus forte que celle employée pour le gaz d'éclairage et d'avoir, par suite, des réservoirs et des canalisations de plus faible importance.

Toutefois, malgré les espérances que l'acétylène peut faire concevoir pour les installations fixes, il semble, dans l'état actuel, tout au moins, qu'il n'y ait pas lieu d'y songer pour les voitures automobiles, par exemple ; le poids de matières à enlever serait, par cheval, de 890 grammes, si on emploie le carbure, et de plus de 1 kilogramme, si on se sert d'acétylène liquide, eu égard au poids assez important des réservoirs où on le conserverait sous pression ; ces poids sont sensiblement plus élevés que ceux qui sont nécessaires avec les moteurs à pétrole.

30. Air carburé. — Les appareils destinés à la carburation de l'air peuvent se diviser en deux classes, les carburateurs à froid et les carburateurs à chaud.

Parmi les premiers, figurent des appareils dans lesquels l'air qui doit être saturé de vapeur de pétrole est refoulé dans le carburateur par un ventilateur mû, soit par un petit moteur, soit par la descente d'un poids. Les carburateurs de ce système fournissent du gaz à une pression

supérieure à la pression atmosphérique ; ils peuvent alimenter par conséquent une canalisation d'éclairage, aussi bien que des moteurs. Les carburateurs Alpha, Éclipse, Phébus sont de ce système.

Dans d'autres, l'air est aspiré dans les carburateurs par le moteur lui-même ; c'est le cas qui se rencontre le plus fréquemment.

Les pétroles employés sont des mélanges d'éléments de volatilité très variable et, si l'on n'y prenait garde, le courant d'air enlèverait d'abord les parties les plus volatiles formant un mélange riche qui irait en s'appauvrissant peu à peu. Pour remédier à cet inconvénient et maintenir aussi constante que possible la composition du mélange, il est préférable d'alimenter peu à peu le carburateur, et surtout de faciliter la volatilisation en augmentant autant que possible les surfaces de contact avec l'air.

Le carburateur Mignon et Rouart se compose d'un cylindre horizontal tournant à la vitesse d'un tour en 5 minutes. Des cloisons verticales divisent ce cylindre en compartiments dont trois sont remplis d'étoupes que le mouvement de rotation maintient continuellement humectées par la gazoline qui se trouve à la partie inférieure du cylindre. Le courant d'air aspiré par le mo-

teur traverse ce cylindre dans toute sa longueur. Dans un autre modèle des mêmes constructeurs, le cylindre est muni, à l'intérieur, d'augets disposés suivant les génératrices qui viennent puiser la gazoline à la partie inférieure, pour la déverser en pluie dans le courant d'air. La vitesse de rotation est plus grande que pour l'autre modèle.

Dans un autre dispositif dû à M. Piéplu, une brosse en poils de sanglier est montée dans l'axe d'un cylindre horizontal traversé par l'air aspiré. Le moteur communique à cette brosse, qui barbote dans la gazoline, un mouvement de rotation continu.

Le carburateur du moteur Simplex est constitué par une brosse hélicoïdale, disposée dans un cylindre vertical, sur laquelle coule un filet de gazoline et en même temps un filet d'eau chaude provenant de l'enveloppe du moteur. L'ensemble arrive dans une caisse à la partie supérieure de laquelle aspire le moteur. L'air est par conséquent forcé de traverser le cylindre renfermant la brosse au contact de laquelle il se charge de vapeur de pétrole. La présence de l'eau chaude a pour but de favoriser la vaporisation de la gazoline.

Ce procédé est d'ailleurs employé dans d'autres carburateurs où l'eau qui a servi à refroidir le

moteur vient ensuite passer dans une enveloppe du carburateur et combattre le refroidissement produit par l'évaporation. Ces carburateurs fonctionnent d'autant mieux que le pétrole employé est plus volatil. On doit les alimenter de préférence avec la gazoline de densité 0,65 qui se volatilise vers 75°.

Le carburateur Durand a été étudié de façon à permettre l'utilisation de pétrole de densité 0,70 environ, qui coûte un peu moins cher que la gazoline. Il se compose d'un récipient clos dans lequel se trouve le pétrole ; à la surface flotte un macaron poreux en liège ; au milieu de ce macaron débouche un tube amenant l'air à carburer ; l'aspiration du moteur se fait à la partie supérieure de la caisse. On peut, lorsqu'on le veut, réchauffer le pétrole en se servant des gaz brûlés. La partie la moins volatile de l'huile employée se rassemble au bas du récipient que l'on purge quand c'est nécessaire.

Nous avons encore à signaler parmi les carburateurs à froid l'appareil Brayton qui permet d'employer des huiles lourdes de pétrole de densité 0,800. L'air devant servir à alimenter le moteur (qui rentre d'ailleurs dans la catégorie des moteurs à air chaud) est refoulé à travers un réservoir rempli d'étoupes ou d'éponges, à

l'intérieur duquel une pompe amène le pétrole nécessaire. Pour favoriser la carburation, une injection d'air à haute pression est faite dans cet espace et sert à faire mousser le liquide que l'air entraîne à l'état de poussières.

Parmi les carburateurs opérant à chaud, nous avons à citer le carburateur Ragot et celui du moteur Sécurité.

Le premier se compose de deux cônes en cuivre emboîtés l'un dans l'autre et chauffés, en marche, par les gaz de la décharge, au départ, par un brûleur spécial. Entre ces deux cônes coule lentement un filet de pétrole qui se vaporise et se mélange à une faible quantité d'air admise dans l'appareil ; le gaz produit est aspiré par le moteur.

Le carburateur Sécurité se compose d'un serpentin réchauffé par les gaz de la décharge ; le pétrole coule lentement à l'intérieur et la vapeur formée vient passer dans une sorte d'injecteur où elle entraîne par aspiration l'air nécessaire à la marche du moteur. Au début de la marche, il est nécessaire de carburer l'air au moyen de gasoline jusqu'à ce que le serpentin soit assez chaud pour vaporiser le pétrole.

CHAPITRE VIII

ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION DES MOTEURS

31. Distribution et allumage. — Les fonctions multiples dévolues aux appareils chargés de produire la distribution et l'allumage du mélange tonnant sont les suivantes :

1° Composition du mélange tonnant en proportions convenables.

2° Admission dans le cylindre.

3° Inflammation du mélange gazeux.

4° Expulsion des gaz brûlés.

Quoique, dans certains cas, un seul appareil ait été employé pour réaliser les quatre opérations, il sera en général préférable, et c'est l'avis de la plupart des constructeurs, comme nous pouvons le constater sur nombre de ma-

chines, d'employer plusieurs organes qui pourront ainsi être mieux appropriés au but à remplir.

Composition du mélange. — Le mélange de l'air atmosphérique avec le gaz combustible, que ce soit du gaz d'éclairage ou de l'air carburé, se fait au moment de l'aspiration dans le cylindre moteur ; des orifices, de section convenablement proportionnée, sont destinés à donner passage aux deux corps. Un robinet placé sur la canalisation du gaz permet en outre de faire varier sa vitesse d'accès ; il en est de même pour l'arrivée de l'air sur nombre de machines.

On pourrait pour des moteurs à compression, à deux cylindres, à air carburé, n'opérer la carburation que pendant la compression ou même après ; rien ne prouve, d'ailleurs, que cette modification soit avantageuse ; le volume du carburateur, pour de grandes machines, serait seulement diminué, et ce système n'a jamais été usité.

En général, les organes destinés à opérer le mélange des gaz sont juxtaposés à ceux qui produisent la distribution ; nous les étudierons donc simultanément.

Distribution. — Le problème relatif à la distribution seule est relativement simple.

Pour les moteurs du 1^{er} type le distributeur doit ouvrir à l'admission au début de la course, pour fermer au point où l'inflammation doit se produire ; il doit ouvrir à l'évacuation à la fin de cette course.

Pour les moteurs du 2^e type, le distributeur ouvre toujours à l'admission au début de la première course d'aller pour ne fermer qu'à la fin de cette course. L'ouverture à l'évacuation doit avoir lieu au début de la deuxième course de retour.

Pour les moteurs du 3^e type, le distributeur doit ouvrir à l'admission au début de la première course d'aller ; il fermera, soit à la fin de cette course, soit au point où se produira l'allumage, suivant que le moteur sera ou non à compression. L'ouverture de l'organe destiné à permettre l'évacuation des gaz brûlés, aura lieu au point de la course de retour où la pression intérieure de ces gaz sera devenue égale à la pression atmosphérique.

Nous n'avons considéré plus haut, dans les moteurs de 2^e type, que des moteurs à 4 temps (genre Otto). Pour tous ces moteurs, tant que le même cylindre servira à la fois à la compression et à la détente, il restera toujours, en fin de course, un volume de gaz brûlé égal au volume

de l'espace mort, qui viendra diluer le mélange tonnant et peut-être même entraver le fonctionnement de l'allumeur.

Dans certains cas, celui du moteur Griffin, par exemple, on a cherché à expulser complètement les gaz brûlés, en ajoutant au cycle deux nouvelles courses, aspiration et refoulement d'air pur. On a, par conséquent, une machine à 6 temps dont l'encombrement est plus considérable et la distribution plus compliquée que pour le moteur à 4 temps ; mais on comprend, et la chose n'a rien qui doive nous étonner, que le rendement en est amélioré et que, notamment, les ratés d'inflammation sont supprimés. Le distributeur devra, dans ce cas, donner passage au mélange pendant toute la première course d'aller, évacuer les gaz brûlés pendant la deuxième course de retour, admettre de l'air pur pendant la troisième course d'aller, et l'évacuer pendant la troisième course de retour. Il est, toutefois, possible, comme le fait le moteur Clerk, d'arriver un peu plus simplement à ce résultat.

Tantôt un seul organe tantôt deux servent à produire l'admission du mélange et l'évacuation des gaz brûlés, et souvent l'un d'eux produit en même temps l'allumage.

Inflammation. — Les différents procédés em-

ployés pour produire l'inflammation des mélanges gazeux, sont les suivants :

L'allumage par flamme, qui se subdivise en :

1° Allumage par aspiration de flamme (réservé aux moteurs sans compression).

2° Allumage par transport de flamme.

2° Allumage par propagation de flamme.

L'allumage par incandescence, dans lequel un corps, fil, tube ou bloc est chauffé extérieurement par une flamme et est mis en relation au moment convenable avec le mélange tonnant. Dans la même catégorie peut rentrer l'allumage par un fil de platine porté au rouge par un courant électrique ; ce fil peut être rougi soit d'une façon continue, soit seulement au moment de l'explosion.

Enfin un dernier mode, très employé, est l'allumage par une étincelle électrique.

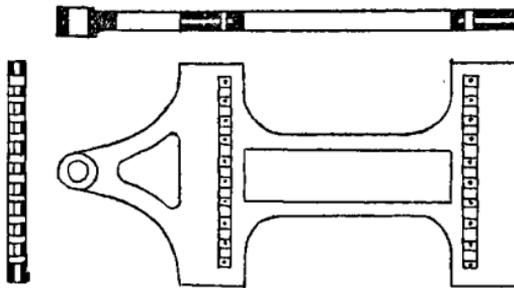
Le mode d'installation varie beaucoup avec les types de machines ; tantôt nous verrons l'inflammation produite, principalement celle obtenue par transport de flamme, par le distributeur, tantôt un organe spécial sera chargé de la produire. Le seul inconvénient à craindre dans le second cas, si les organes venaient à se dérégler, est une inflammation inopportune.

Nous allons passer en revue quelques systèmes

de distribution employés, en examinant à la fois le mode de composition du mélange, la distribution et l'allumage.

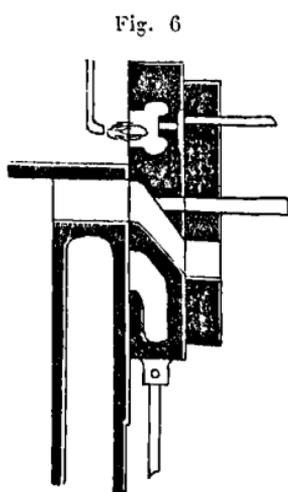
32. Étude de quelques systèmes de distribution et d'allumage. *Système Lenoir.* — Le tiroir de ce moteur sert à la fois à produire la composition du mélange et son admission au

Fig. 5



cylindre. Une plaque en bronze se meut entre la glace du cylindre et la glissière formant le dos du tiroir ; elle est percée d'ouvertures alternées de 2 et 6 millimètres sur une ligne verticale, les premières traversant complètement la plaque et communiquant par l'intermédiaire d'ouvertures correspondantes dans la glissière, à la conduite de gaz, les autres amenant l'air par l'intermédiaire d'un évidement pratiqué dans la plaque formant tiroir. Les gaz et l'air sont ainsi mélangés intimement ; cette partie de l'appareil

porte le nom de diffuseur. La *fig. 5* en montre la disposition. Un tiroir semblable, mais dépourvu de diffuseur sert à l'évacuation des gaz brûlés. Le moteur est à double effet et chacune des colonnes du diffuseur dessert une des extré-



mité du cylindre. L'allumage est produit par une étincelle électrique obtenue par deux piles de de Bunsen et une bobine Ruhmkorf. Une bougie en porcelaine traversée par une tige métallique dont la pointe se trouve à quelques millimètres de la paroi du cylindre près du conduit d'admission sert au passage de l'étin-

celle qui est produite quand le piston est au milieu de sa course. Un guide porté par la tige de celui-ci vient alors fermer le circuit induit.

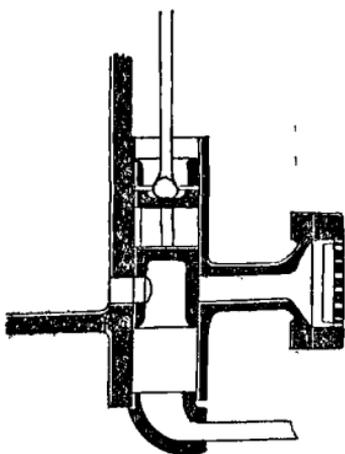
Système Bénier. — Le tiroir (*fig. 6*) effectue le mélange de l'air et du gaz qui arrivent par des ouvertures ménagées dans la contre-plaque et gagnent la lumière du cylindre. Quand le tiroir ferme à l'admission, un bec brûleur alimenté de gaz par la contre-plaque, vient enflammer le

mélange, l'explosion l'éteint et il vient se rallumer à un bec veilleur alimenté par la canalisation générale. Puis le tiroir étant revenu en arrière laisse échapper les gaz brûlés. Le mouvement de ce tiroir est obtenu à l'aide d'une came sur laquelle deux ressorts de rappel le forcent à s'appuyer constamment par l'intermédiaire d'un petit galet.

Système de Bisschop. — L'air et le gaz arrivent à l'appareil en passant par des soupapes fermées

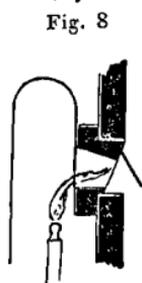
Fig. 7

de plaques de caoutchouc portant sur des sièges percés de trous. Le distributeur est un tiroir cylindrique qui dans la position représentée sur le dessin (*fig. 7*), donne passage au mélange tonnant. L'allumage se fait par aspiration de flamme, à cet effet un brûleur permanent



(*fig. 8*) disposé à hauteur convenable peut communiquer avec l'intérieur du cylindre par l'intermédiaire d'un canal fermé par une plaque mince en acier suspendue librement et qui se sou-

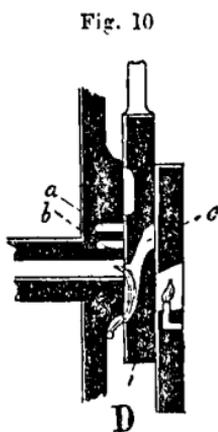
lève, par suite du vide partiel qui existe dans le cylindre, lorsque le piston démasque l'ouverture, la détonation se produit



alors et celle-ci faisant retomber les soupapes sur leur siège met fin à l'admission, puis le tiroir remonte et laisse échapper les gaz brûlés par un conduit spécial. Ce tiroir est conduit par un excentrique.

duit par un excentrique.

Système Otto et Langen. — Le tiroir D (fig. 9 et 10) est plan et fait communiquer, au moment de l'admission, le cylindre avec deux conduits



dont l'un *a* amène le gaz et l'autre *b* l'air, puis le tiroir remonte, ferme la communication avec l'air et le gaz, une poche *c*, précédemment rem-

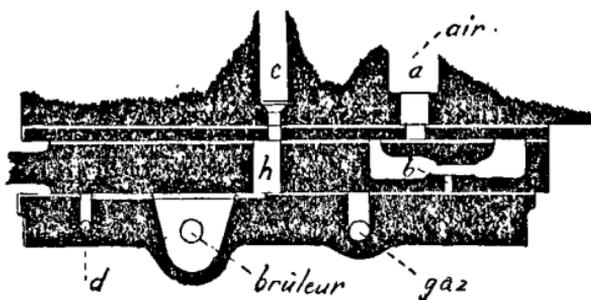
plie de gaz par le conduit a , s'allume à un bec veilleur et vient enflammer le mélange contenu dans le cylindre. Nous avons par conséquent ici, allumage par transport de flamme. L'échappement se produit par une ouverture de la glace du cylindre qui fait communiquer celui-ci avec l'extérieur ; comme cette communication existe encore lorsque l'admission se produit, un clapet métallique f (*fig. 11*) vient, grâce à l'aspiration produite par le piston, obturer le conduit.

Les distributeurs que nous venons de passer en revue fonctionnent sur des moteurs sans compression. Nous allons examiner maintenant quelques exemples de tiroirs employés sur les moteurs du second type.

Système Otto (*fig. 12 et 13*). — Ce tiroir est conduit par une manivelle qui ne fait qu'un tour pour deux de l'arbre moteur, c'est-à-dire que le cycle étant à 4 temps est accompli tout entier pendant une seule rotation de la manivelle du tiroir. Dans la position qui produit l'admission, l'air arrive par un canal a , vient se mélanger au gaz amené par la contre-plaque qui porte un diffuseur b ; le mélange est ensuite admis au cylindre par le canal c . La disposition des conduits est telle que le gaz est encore admis au cylindre après que le conduit a est fermé. Il

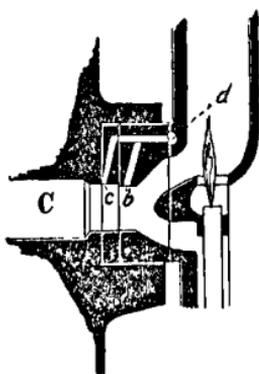
en résulte, d'après M. Otto, une stratification du mélange, les couches riches se trouvent au fond

Fig. 12



du cylindre, ce qui donne un bon rendement ; on peut dire, il est vrai, avec autant d'apparence

Fig. 13



de raison, que le mélange riche formé permet l'inflammation du reste, qui est relativement un mélange pauvre et que l'économie est obtenue par l'emploi d'un mélange qui se rapproche en moyenne du mélange à 10 volumes d'air et aussi grâce à une bonne compression ainsi

qu'à une construction soignée et non point par une stratification quelconque.

Le tiroir porte une chambre d'allumage qui

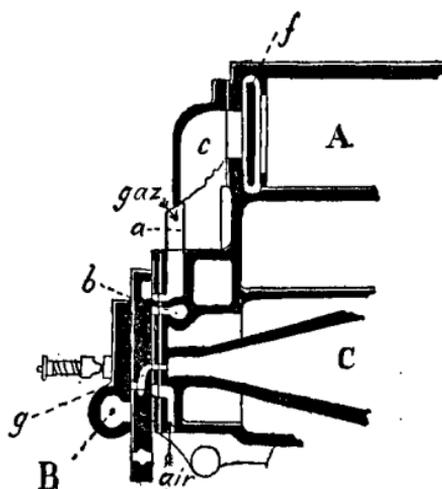
reçoit pendant que celui-ci est à l'admission, du gaz par l'intermédiaire des conduits *d*, *c*, *b*. Le tiroir venant à se déplacer, le gaz, enfermé dans la chambre d'allumage, s'enflamme à son passage devant le brûleur permanent, puis le conduit *h* est bouché et un autre vient faire communiquer la chambre avec le cylindre qui contient alors le mélange comprimé et la pression s'élève peu à peu, pour arriver à atteindre la pression des gaz dans le cylindre, quand le tiroir étant arrivé à la position d'inflammation, vient communiquer avec la lumière et fait détonner le mélange qui s'y trouve.

L'échappement est produit par une soupape indépendante du tiroir d'admission et commandée par une came et un levier.

Système Clerk. — Le moteur Clerk est un moteur à 6 temps, à compression dans un cylindre séparé; le tiroir doit fournir alternativement le mélange tonnant et l'air pur employé au balayage du cylindre, ces deux fluides sont emmagasinés dans le même cylindre par l'artifice suivant. La glissière du tiroir auquel est dévolu le rôle de composition et d'inflammation du mélange étant dans la position indiquée par les *fig.* 14 et 15 le gaz peut arriver du tuyau *a*, au conduit *b*, qui le fait communiquer avec le cylindre compresseur *A*

par l'intermédiaire du conduit *c* et de l'espace *d*;

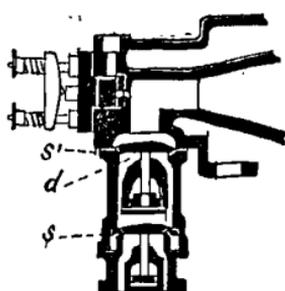
Fig. 14



d; en même temps et par suite de l'aspiration produite à ce cylindre, la soupape *s* venant à s'ouvrir, l'air qui arrive à la partie inférieure de cette soupape vient se mélanger

dans l'espace *d* avec l'air et se rend avec lui au cylindre A. A un certain point de la course de

Fig. 15



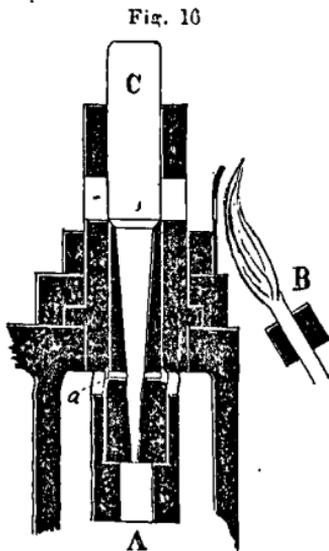
celui-ci, la glissière venant à se déplacer, clôt l'arrivée du gaz et l'air pur continue seul à accéder au cylindre; un stratificateur *f* sert à amortir à l'entrée du cylindre A la vitesse du gaz qui, d'après le D^r Clerk, doit par suite

se disposer : le mélange tonnant contre le piston,

l'air pur contre le fond. Quand le piston reviendra en arrière, l'air pur sera chassé d'abord et viendra balayer le cylindre pour préparer la voie au mélange tonnant. Il est toutefois à craindre que ces deux fluides ne diffusent entre eux et que l'on ne perde ainsi une certaine quantité de gaz. L'inflammation est obtenue par la descente de la glissière; des conduits *g*, dont la faible section et la longueur ont pour but d'arrêter la flamme, viennent amener au brûleur permanent B le mélange tonnant comprimé, puis la glissière descendant encore, la flamme est enfermée dans le conduit *g* où la pression augmente et vient déboucher dans la lumière du cylindre détenteur C où elle enflamme le mélange. La communication entre les deux cylindres A et C se fait au moyen de la soupape S'.

Système Kœrting (fig. 16). — Dans le moteur de ce système, une soupape donne passage à la fois à l'air et au gaz qui se mélangent et se rendent au cylindre où ils sont aspirés, comprimés puis enflammés. L'évacuation est obtenue à l'aide d'une autre soupape commandée par un levier au moment voulu. L'allumeur mérite une mention spéciale; il est fondé sur les propriétés du tube de Venturi. Le gaz comprimé vient entrer dans la fusée, mobile et percée d'une ouver-

ture conique, et s'enflamme au contact du brûleur permanent. Au moment où doit se produire l'inflammation, la pièce supérieure C, mue par une



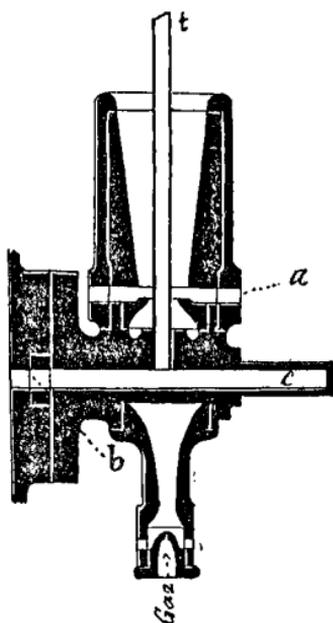
came, descend, clôt la communication de la fusée avec l'air, se place de façon à ce que l'ouverture centrale communique encore avec le conduit du cylindre *a* et la flamme dont la vitesse de propagation est devenue cette fois, grâce à la pression qui s'est élevée dans la fusée, supérieure à la vitesse

d'afflux du gaz, remonte le courant et pénètre par le conduit *a* jusqu'au mélange tonnant qu'elle enflamme.

Système Otto-Crossley. — La distribution du gaz se fait encore ici par soupapes; l'allumage est produit par l'emploi d'un tube incandescent. Le gaz arrive au bas du brûleur (*fig. 17*), se mélange avec une quantité d'air à peine suffisante pour que le mélange soit combustible et vient brûler autour d'un tube en fer; le complément d'air nécessaire

à la combustion arrive par des trous *a* ménagés à la base du brûleur et dont on peut régler à volonté l'ouverture; de cette façon, la flamme, réductrice au centre, ne détruit pas trop rapidement le tube incandescent. Un obturateur *b* vient au moment voulu faire accéder dans le tube et dans l'espace qui le réunit au cylindre le mélange tonnant qui s'enflamme au contact du tube incandescent; le mélange, accumulé dans une chambre *c* au bas du tube, a pour effet d'augmenter la force de projection de la flamme à l'intérieur du cylindre.

Fig. 17



Nous venons de passer en revue un certain nombre des dispositifs employés pour produire la distribution et l'allumage, ils ont tous des avantages et des inconvénients.

L'allumage par flamme ou par incandescence exige un brûleur qui consomme du gaz d'une

façon permanente ; l'allumage électrique qui est plus spécialement employé pour les moteurs à air carburé nécessite l'emploi de bobines de Ruhmkorf et de piles qui exigent un certain entretien, ou de machines magnéto-électriques conduites par la machine, qui ne dépensent rien quand le moteur ne fonctionne pas, mais demandent à être suppléées au départ, par exemple, par un accumulateur qui sera chargé en marche par la machine.

Les tiroirs plans sont d'une fabrication et d'un rodage plus faciles que les soupapes, mais ils s'encrassent plus facilement et grippent, ce qui n'a pas lieu avec les soupapes, aussi ces dernières tendent-elles à avoir de plus en plus la préférence des constructeurs.

CHAPITRE XI

RÉGLAGE DE LA VITESSE. SELF STARTER. CHANGEMENT DE MARCHE

33. Réglage de la vitesse. — Pour qu'un moteur puisse effectuer d'une façon convenable le travail dont il est chargé, il est bon, en général, et, dans bien des cas, absolument indispensable, que son allure soit régulière. Pour arriver à ce résultat, nous devons chercher à uniformiser autant que possible, sauf toutefois pour les moteurs atmosphériques, dont le mode de travail est tout spécial, la vitesse des pièces en mouvement pendant que le moteur parcourt un cycle complet. En second lieu, nous devons maintenir constant le nombre de tours de la machine,

quel que soit le travail qui lui est demandé, s'il s'agit par exemple de conduire les machines d'un atelier.

Nous devons pouvoir en outre, dans certains cas, régler à volonté le nombre des tours de la machine quand elle actionne, par exemple, un propulseur de navire.

Le premier but sera atteint par l'emploi de volants, dont l'action est bien connue, et de plusieurs cylindres, qui viendront régulariser le couple moteur.

Pour les moteurs qui marchent à grande vitesse, il sera très bon, quand on le pourra, d'équilibrer toutes les pièces mobiles, et la matière ainsi employée produira un effet régulateur au moins aussi considérable que si elle était affectée à un volant régulier.

Nous réaliserons la deuxième condition en proportionnant toujours le travail fourni par le moteur, au travail demandé. Si nous nous plaçons dans le cas, qui est le plus fréquent, où le nombre de tours ne doit varier qu'entre des limites très restreintes, nous devons faire varier l'ordonnée moyenne du diagramme, c'est-à-dire la quantité de gaz brûlé par tour, ce à quoi nous parviendrons, en augmentant ou restreignant soit l'arrivée du gaz, soit celle de l'air ; dans ce

dernier cas, nous pourrions avoir une combustion incomplète, partant une perte de gaz.

Pour les petits moteurs qui ne réclament pas une régularité très grande, on y arrivera très simplement en réglant à la main le robinet de la conduite de gaz ou d'air carburé.

Dans le cas des grands moteurs, et dans tous les cas, pour ceux dont le fonctionnement doit être très régulier, on emploiera des régulateurs automatiques, régulateurs à boules, pendulaires ou autres. La fonction de ces régulateurs sera de commander la valve d'arrivée du gaz ou les organes d'admission au cylindre ou encore les organes d'échappement. Il est évidemment préférable de restreindre l'arrivée du gaz ou mieux l'admission du mélange tonnant. Quand on opère sur la valve d'arrivée du gaz, il faut prendre soin de ne pas appauvrir par trop le mélange; nous avons vu en effet que la perte par combustion incomplète augmente assez rapidement; on pourrait même arriver à rendre le mélange ininflammable, on aurait ainsi une perte absolue de gaz; il vaut mieux, et c'est ce que font certains constructeurs, supprimer complètement, passé une certaine vitesse, l'arrivée du gaz ou du mélange tonnant.

Pour les moteurs du premier type, on peut,

par exemple, maintenir ouverte la soupape d'évacuation, la soupape d'admission ne pourra alors se soulever et aucune dépense de gaz ne se produira.

Pour le moteur Otto et Langen, on peut refermer en partie la soupape d'échappement et produire ainsi une contre-pression plus forte. Il est évident qu'il est préférable de restreindre la dépense faite par le moteur en étranglant l'arrivée du gaz, plutôt que de lui imposer un travail supplémentaire, parfaitement inutile.

DES RÉGULATEURS

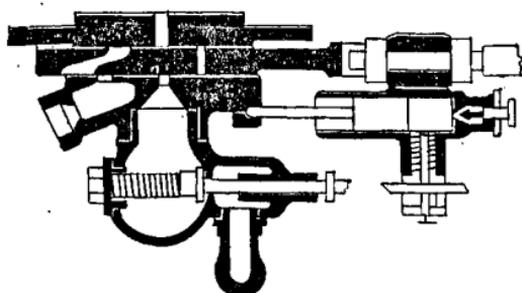
Le *régulateur à boules*, le plus anciennement employé, soulève, quand la vitesse devient trop considérable, un manchon, qui, par un système de transmission quelconque, vient, soit fermer la valve d'arrivée du gaz, soit déplacer les organes chargés de l'ouvrir.

Les *régulateurs pendulaires* agissent de la façon suivante : l'oscillation du pendule s'accomplit pendant le temps normal employé par le piston pour décrire sa course, la présence d'une pièce portée par le pendule permet alors à un organe de la machine de faire fonctionner le

tiroir d'admission; quand la vitesse s'accélère, le pendule arrive en retard et l'ouverture n'a pas lieu.

Les régulateurs à pompe fonctionnent d'une façon analogue : une pompe mue par la machine (moteur Simplex, *fig. 18*) refoule de l'air dans un réservoir où une fuite réglable est pratiquée et suivant la vitesse, la pression plus ou moins con-

Fig. 18



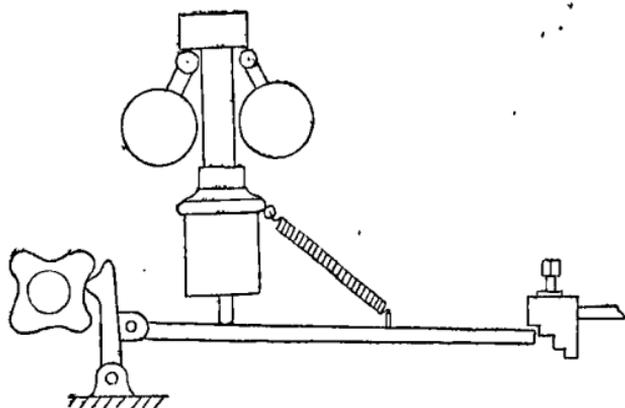
sidérable qui règne à ce réservoir, détermine l'ouverture ou la fermeture de la soupape ou du tiroir.

Moteur vertical Otto. — Le régulateur de ce moteur se compose d'un levier coudé à angle droit dont la branche verticale est terminée par un crochet destiné à saisir la tige de la soupape d'admission; l'autre branche porte un contre-poids et est rattachée par un ressort à une pièce mobile de la machine, qui entraîne aussi à l'aide

d'un bras le point d'articulation du levier coudé. Quand la vitesse est normale, la tige qui porte le contre-poids reste horizontale et la tige verticale accroche et soulève la soupape. Quand la machine s'emporte, le contre-poids, en vertu de son inertie, prend du retard sur le reste du mouvement et le crochet manque la soupape.

Moteur à pétrole Forest. — La soupape d'arrivée du gaz est ouverte à chaque aspiration à

Fig. 19



l'aide d'une came qui presse sur sa tige par l'intermédiaire d'une tringle (fig. 19); celle-ci est reliée à une de ses extrémités au manchon d'un régulateur à boules. Tant que la vitesse est normale, la tringle reste horizontale et la came peut produire la levée de la soupape. Si la vitesse s'accé-

lère, le régulateur déplace la tringle et la levée n'a plus lieu. En réalité, il existe sur le butoir qui reçoit le choc de la tringle plusieurs crans d'inégale profondeur, ce qui fait que l'arrivée du gaz est d'abord restreinte puis supprimée entièrement. Cette disposition est très bonne puisqu'elle tend à proportionner la dépense de gaz au travail à fournir et en outre supprime complètement son arrivée, quand le mélange tendrait à devenir inflammable.

Moteur Niel. — Une came vient agir sur une tige métallique articulée sur un levier oscillant autour d'un point; l'extrémité du levier porte une pièce à trois branches dont la première est fixée à une lame d'acier munie d'un contre-poids, l'autre branche vient buter, quand le levier se lève, contre un doigt de réglage et fait osciller l'ensemble de la pièce, la troisième branche porte une lame rigide qui, lorsque le levier redescend, fait ouvrir la soupape d'admission en s'appuyant sur une pièce fixe. Quand la vitesse de la machine est trop grande, la lame verticale manque la pièce fixe et l'admission n'a pas lieu. Le réglage est par conséquent fait ici par le système du tout ou rien.

Moteur Charon. — Dans ce moteur, le régulateur agit non plus sur la soupape d'arrivée

du gaz, mais sur celle qui amène au moteur le mélange tonnant, qui conserve ainsi une composition constante. Quand la machine va trop vite, la quantité de mélange tonnant admise, diminue ; on a, par suite, une diminution de la compression, ce qui est peu avantageux, sans doute, mais aussi une augmentation de la détente. Ce système fonctionne très bien.

34. Mise en train. Self Starter. — Pour mettre en marche un moteur à gaz, il est nécessaire d'introduire dans le cylindre et d'enflammer le mélange tonnant. Pour réaliser ces deux conditions, on fait faire à bras quelques tours au moteur, on provoque ainsi l'admission ; l'inflammation est quelquefois plus difficile à obtenir, si les parois sont froides et si, par l'ouverture des différents robinets, on n'a pas composé le mélange convenable.

Le robinet d'arrivée du gaz au cylindre doit être ouvert modérément, car une trop forte proportion de gaz rendrait inflammable le mélange ; quand on se sert d'air carburé, il faut prendre le soin, si le carburateur est à rotation, de lui faire faire quelques tours à la main, on aura, naturellement, débrayé la machine d'avec les transmissions.

Pour les moteurs à compression, l'opération

est souvent plus laborieuse. On n'a d'abord qu'une explosion par cylindre tous les deux tours et il est nécessaire de comprimer le mélange, ce qui donne un surcroît de travail.

Aussi dans un certain nombre de moteurs, on supprime la compression au début de la marche. Une came ouvrira, par exemple, la soupape d'évacuation pendant une partie de la course de compression.

Lorsque l'allumage se fera par une flamme, on aura soin de la régler avant de faire tourner le moteur. Dans le cas des moteurs composés de plusieurs cylindres, la mise en train est un peu plus rapide mais non pas moins pénible. Pour un moteur de 10 chevaux à 4 cylindres, il faut parfois 3 hommes pour la mise en train.

Pour obvier à ces inconvénients, on a imaginé des systèmes auxiliaires de mise en train ou *self starter*.

M. Dugald-Clerk comprime dans un réservoir en fer forgé le mélange explosif, qu'il prélève pendant la marche, au compresseur de sa machine. Pour la mise en marche, ce mélange vient agir sur le piston, d'abord par sa pression puis par sa force explosive, jusqu'à ce que la machine ait pris assez de vitesse pour s'alimenter elle-même.

On a trouvé ce dispositif trop dangereux à cause de la possibilité de l'explosion du réservoir et on se borne souvent à y emmagasiner de l'air pur, qu'il serait d'ailleurs fort simple de faire passer à travers un petit carburateur.

D'autres systèmes emploient différents artifices ; on amène, par exemple, le piston en un point convenable et on charge le cylindre de mélange tonnant, soit grâce à la pression, même faible, qui peut régner dans la canalisation, soit en faisant tourner le moteur à la main. Ce procédé donne une mise en train assez lente, qui peut avoir des inconvénients dans certains cas, celui des machines marines par exemple, pour lesquelles un self starter analogue à celui du D^r Clerk paraît tout indiqué.

35. Changement de marche. — Pour la plupart des machines employées dans les ateliers, il n'est pas nécessaire de pouvoir renverser la marche, aussi trouve-t-on peu de moteurs pourvus d'un changement de marche.

Dans certains cas, on se contente d'un embrayage disposé sur l'arbre de la machine et pouvant actionner dans deux sens l'arbre de transmission.

Dans d'autres cas, on emploie des tiroirs spéciaux pour la marche en arrière.

La disposition la plus ingénieuse est certainement celle de M. Forest. Dans son moteur vertical pour canot, les cylindres sont au nombre de 4. Deux manivelles calées à 180° reçoivent deux à deux les bielles. La machine est à compression et chacun des cylindres se trouve à une phase différente du cycle. Le commutateur qui distribue l'étincelle aux cylindres est calé sur l'arbre qui porte les cames des soupapes d'évacuation. Il suffit pour produire le changement de marche de décaler et de déplacer à l'aide d'un levier horizontal l'arbre à cames et le commutateur. Pour que l'opération réussisse, il est bon, en supprimant l'inflammation, de laisser ralentir la machine et au moment où les manivelles passent à faible vitesse par la position horizontale, de changer brusquement le levier de position. On aura ainsi renversé la marche. Il est facile de le comprendre en remarquant que pour deux positions voisines du point mort de compression et situées de part et d'autre de ce point, le mélange se trouve dans le même état, le sens de la marche sera, par conséquent, celui pour lequel l'étincelle aura sur le piston un léger retard par rapport au passage du point mort.

CHAPITRE X

GRAISSAGE

36. Nécessité du graissage. — Il est inutile d'insister sur la nécessité du graissage des organes d'une machine quelconque; quand il s'agit des cylindres d'un moteur à gaz, cette nécessité s'accroît encore, en même temps que le graissage lui-même devient plus difficile. Nous avons en effet à combattre dans ce cas, et une température très élevée, et les effets désastreux à ce point de vue de la présence de flammes dans les cylindres. La circulation de l'eau dans les enveloppes pourra bien maintenir la paroi externe à une température modérée, mais la paroi interne sera à une température notablement plus élevée.

Les différents lubrifiants connus : l'eau, l'eau de savon, la plombagine, les huiles animales,

végétales et minérales, ont été essayés, et c'est à ces dernières que l'on donne la préférence.

Les qualités à réclamer à une huile de graissage sont : la fluidité, l'adhérence aux surfaces à graisser, l'inaltérabilité sous l'action de la chaleur. En outre, l'huile ne doit pas attaquer les surfaces métalliques qu'elle doit lubrifier, elle doit par conséquent être bien débarrassée des acides qui ont pu être employés pour sa rectification ; elle ne doit donner ni dépôt ni cambouis et elle sera d'autant meilleure qu'elle conservera ses propriétés à plus haute température.

Les huiles animales et végétales donnent, sous l'influence de la chaleur, de la glycérine et des acides gras, leurs propriétés lubrifiantes disparaissent et les acides produits peuvent attaquer les surfaces métalliques pour former des savons à base de fer. En outre, les flammes les brûlent très facilement. On en évitera donc l'emploi pour l'intérieur des cylindres. L'huile d'olive pourra rendre d'excellents services pour le graissage des différentes pièces mobiles.

Les huiles minérales provenant de Russie ou d'Amérique donnent entre autres produits des huiles de graissage d'excellente qualité. Ces huiles (oléonaphte, valvoline, glob oil, etc.), distillent à une température de 350 à 400° : leur

densité est de 0,85 à 0,92, elles sont onctueuses au toucher, opaques et d'un brun clair ; elles conservent assez bien leurs propriétés lubrifiantes à des températures supérieures à 200°, elles sont peu brûlées par la flamme de l'explosion. Elles se vendent de 70 à 140 francs les 100 kilogrammes suivant leur qualité.

On devra toujours employer, pour le graissage des moteurs, de l'huile d'excellente qualité et en faire passer dans les cylindres une quantité largement suffisante ; sans parler des épurateurs qui, comme celui de M. Ducretet par exemple, permettront de récupérer l'huile employée en excès, on obtiendra généralement par un graissage abondant une économie sur la dépense de gaz.

On peut employer cette huile aussi bien au graissage des articulations qu'à celui du cylindre et du tiroir. Ce dernier particulièrement doit être graissé modérément avec de l'huile de toute première qualité.

On obtient également une huile excellente pour le graissage extérieur par le mélange d'oléonaphte et d'huile d'olive ou *huile composité*.

Les graisseurs employés sont de différents systèmes. Dans les uns, le graisseur Otto par exemple, une roue armée d'aiguilles qui viennent plonger dans un godet contenant de l'huile, vient

déposer celle-ci goutte à goutte dans des tuyaux qui la conduisent aux surfaces à graisser ; la roue est mue par une courroie qui passe sur l'arbre de distribution.

Dans d'autres, un robinet placé à la base du récipient à huile et mù par la machine, vient distribuer l'huile goutte à goutte dans un ou plusieurs tuyaux.

M. Clerk se sert pour la distribution de l'huile de son moteur, d'une petite pompe mue par la machine.

Un grand nombre de constructeurs emploient simplement des graisseurs continus qui, il est vrai, ne cessent pas, comme les précédents, de distribuer l'huile, si on néglige de les obturer, quand le moteur est stoppé.

Nous devons une mention spéciale à l'emploi, pour le graissage extérieur, de graisse de qualité particulière dont on fait souvent usage. On l'emploie dans des boîtes vissées sur des conduits qui communiquent avec l'intérieur des coussinets des paliers ou des bielles ; tel est le cas des graisseurs Wanner employant la graisse dite *locomotive*. Ce dispositif est extrêmement commode pour les pièces en mouvement, où les graisseurs ordinaires à huile laissent parfois à désirer ; en outre, l'usage de ces graisseurs produit une économie appréciable.

CHAPITRE XI

—

ESSAI D'UN MOTEUR A GAZ

37. Division d'un essai. — L'essai d'un moteur à gaz, c'est-à-dire, en somme, la détermination de sa valeur, est une opération sur l'intérêt et l'importance de laquelle il n'est pas utile d'insister. Cet essai devra être fait avec ordre et méthode. Il devra être divisé en plusieurs séries.

1° Essai de puissance et de consommation en allure normale, dans lequel on s'attachera à obtenir comme puissance et comme nombre de tours les résultats prévus par le constructeur ;

2° Essai de puissance et de consommation à vide, dans les mêmes conditions de nombre de tours que précédemment ;

3° Essai de fonctionnement, destiné à contrôler le service du régulateur, dans lequel on fera varier, dans les plus grandes limites, le

travail demandé à la machine en laissant au régulateur seul le soin de gouverner l'allure.

Les principaux éléments à noter dans un essai sont les suivants :

- Système du moteur,
- Nombre de cylindres,
- Diamètre et course des cylindres,
- Volume de l'espace mort rapporté au volume total des gaz lors de l'admission,
- Mode d'inflammation,
- Rapport de bielle à manivelle,
- Durée de l'essai,
- Nombre de tours,
- Force développée sur l'arbre, relevée au frein;
- Force développée dans les cylindres, calculée sur les diagrammes,
- Consommation d'eau,
- Température de l'eau à l'entrée et à la sortie,
- Température des gaz à l'échappement,
- Température de l'air extérieur.

Si le moteur est alimenté aux gaz d'éclairage, gaz Dowson ou autres	}	<ul style="list-style-type: none"> Consommation de gaz dans les cylindres, Consommation de gaz de l'alumeur, Pression atmosphérique, <li style="padding-left: 2em;">// du gaz dans les conduites, Puissance calorifique du gaz, Volume d'air employé.
---	---	---

Si le moteur est alimenté par de l'air carburé.	}	Consommation de gazoline ou de pétrole. Densité et puissance calorifique du pétrole employé. Volume total d'air employé.
---	---	--

On doit s'attacher, dans ces essais, sauf bien entendu pour le troisième, à ce que le nombre de tours ne varie qu'entre des limites restreintes.

Toutes les fois que la chose est possible, il est bon de faire un essai au frein qui permet de déterminer la puissance en chevaux disponible sur l'arbre. On peut employer soit le frein de Prony, soit le frein à corde, d'installation plus simple, dans les deux cas la chaleur développée par le frottement est emportée par l'eau d'arrosage.

Pendant le cours de l'essai, le nombre de tours doit être relevé par un compteur totalisateur. En outre, à intervalles réguliers, il est bon de relever le nombre de tours par minute, pour s'assurer que l'allure ne varie pas.

Ce relevé sera fait en même temps que l'on prendra des courbes sur les indicateurs. On peut employer pour ce relevé un modèle d'indicateur quelconque ; il y a lieu de prendre pour l'installation de l'instrument et le relevé des courbes, les précautions suivantes : Le tuyautage faisant communiquer le cylindre et l'indicateur doit

être court et son diamètre au moins égal au diamètre du piston de l'indicateur ; le ressort doit être approprié à la pression maxima à relever, ses déformations, doivent être proportionnelles aux pressions, il doit être taré à chaud. On devra le tarer à nouveau après l'essai, pour s'assurer que la température, à laquelle le ressort a été soumis, n'a pas altéré ses propriétés. Le mouvement du cylindre porte-papier doit être rigoureusement proportionnel à celui du piston de la machine, il faut donc que la ficelle de l'indicateur, dans le cas où ce procédé est employé pour la transmission de mouvement, reste constamment tendue, soit accrochée en un point ayant le mouvement du piston ou un mouvement proportionnel et soit, dans son dernier parcours, parallèle à la tige du piston. Le piston de l'indicateur doit être à frottement doux dans son cylindre, il doit être graissé à l'huile minérale. Le poids des pièces mobiles, pistons, tiges, ressorts, etc., des indicateurs doit être aussi réduit que possible ; l'inertie de ces pièces, pour des moteurs à allure rapide et surtout par suite de l'explosion peut occasionner des oscillations, qui viendraient masquer l'allure réelle de la courbe.

On notera avec soin la quantité de gaz ou de

pétrole consommée pendant l'essai. Il sera bon, toutes les fois que l'installation le permettra, de relever également, à l'aide d'un compteur de grandes dimensions, la quantité d'air employée et aussi la quantité d'eau consommée pendant l'essai, ainsi que sa température à l'entrée et à la sortie. Cette donnée est très importante, puisqu'elle permet d'évaluer la quantité de chaleur perdue par les parois. La température des gaz à la sortie sera évaluée à l'aide d'un pyromètre.

Les diagrammes relevés sur les cylindres permettent le calcul de la force de la machine, en chevaux indiqués et par comparaison avec les résultats fournis par l'essai au frein, montreront de quelle façon le travail développé est utilisé dans le moteur.

En outre, et c'est là surtout leur importance, ils permettent de se rendre compte de la façon dont le cycle est réalisé et des perfectionnements qui peuvent être apportés à la machine.

38. Résultats de différents essais. — Nous donnons ci-dessous des extraits de quelques rapports d'essais faits sur des moteurs de différents types :

1° Expériences faites sur le moteur Lenoir à air dilaté, par M. Tresca, le 17 mars 1861 (*An-*

nales du Conservatoire des Arts et Métiers)
t. I, p. 867).

Durée de l'essai : 5 heures.
Diamètre du cylindre : 140 millimètres.
Course du piston : 120 millimètres.
Vitesse : 94 tours par minute.
Travail au frein : 0,9 cheval.
Teneur en gaz du mélange tonnant : 7,5 0/0.
Pression maxima : 4^{atm},36.
Température des gaz de la décharge : 220°.
Volume d'eau de circulation par cheval-heure : 120^{lit}.
Température de l'eau à la sortie : 90°.
Dépense d'huile de graissage : 36 grammes par heure.
Consommation de gaz par cheval-heure : 2698 litres.
Chaleur emportée par l'eau de circulation : 65 0/0.

2° Expériences faites sur un moteur Otto et
Langen par M. Meidinger en 1868 (*Die Gasmachine* par M. Schœtler, p. 31).

Diamètre du cylindre : 130 millimètres.
Course du piston : variable.

Vitesse Tours par minute	Nombre de coups de piston	Travail au frein	Consommation par cheval-heure
106	43	47 ^{kg} ,7	834
90	37	44, 5	830
75	34	40, 1	810
60	29	35, 5	757
40	20	26, 5	742

3^o Expériences faites par MM. Allard, Le Blanc, Joubert, Polier et Tresca sur deux moteurs Otto à l'Exposition d'électricité en 1881 (*Expériences faites à l'Exposition d'électricité*).

Machine de 4 chevaux :

Diamètre du cylindre : 170 millimètres.

Course du piston : 340 millimètres.

Nombre de tours : 155.

Travail au frein : 3^{ch},94.

Travail indiqué : 5^{ch},26.

Consommation de gaz par cheval effectif : 897^l.

Machine de 10 chevaux à 2 cylindres.

Diamètre des cylindres : 170 millimètres.

Course des pistons : 340 millimètres.

Nombre de tours : 161.

Travail relevé au frein : 8^{ch},34.

Consommation de gaz par cheval effectif : 915 litres.

Consommation d'eau : 187 litres.

Température de l'eau : à l'entrée, 16° ; à la sortie, 79°5.

4^o Expériences faites sur un moteur Durand alimenté d'abord au gaz de ville, puis à l'air carburé. (*Traité des Moteurs à gaz de M. Witz, p. 216*).

Éléments de l'essai	Gaz	Air carburé
Durée de l'expérience	2 ^h	2 ^h
Nombre de tours	185	180
Travail effectif	2 ^{ch} ,45	2 ^{ch} ,88
Dépense de gaz de gazoline de densité 0,695	712 ^l	01,667

5° Résultat du concours de la Société des Arts de Londres en 1888 (*Traité des Moteurs à gaz* de M. Witz, p. 216).

Éléments de l'essai	Moteur Atkinson	Moteur Crossley	Moteur Griffin
Durée de l'essai . . .	6h	6h	6h
Puissance nominale. . .	6ch	6ch	8ch
Vitesse moyenne . . .	131 ^t ,1	160,1	198,1
Travail indiqué . . .	11 ^{ch} ,15	17 ^{ch} ,12	15 ^{ch} ,47
Travail effectif. . . .	9 ^{ch} ,48	14 ^{ch} ,74	12 ^{ch} ,51
Rendement organique .	0,85	0,86	0,81
Consommation de gaz par cheval indiqué . .	526 ^l	575 ^l	634 ^l
Consommation de gaz par cheval effectif. . .	618 ^l	765 ^l	784 ^l
Utilisation	22,8 %	21,2 %	19,2 %

6° Résultats des essais faits à Rouen, par M. Witz, sur un moteur Simplex alimenté au gaz Dowson le 12 septembre 1890 (*Traité des Moteurs à gaz* de M. Witz, p. 220).

Force nominale : 100 chevaux indiqués.

Diamètre du cylindre : 575 millimètres.

Course du piston : 950 millimètres.

Vitesse de régime : 100 tours.

Compression initiale : 6 atmosphères.

Nombre de volants : 2.

Poids de chaque volant : 3 900 kilogrammes.

Durée de l'essai : 23^h,30.

Consommation d'anhracite :	920 kilogrammes.
"	de coke : 171 kilogrammes.
"	d'eau au gazogène : 970 litres.
"	d'eau au scrubber : 18 330 litres.
"	d'eau au cylindre : 89 300 "
"	d'huile au cylindre : 6 ^{kg} ,670.
"	de graisse : 0 ^{kg} ,800.
Température du cylindre :	43 ^o ,5.
"	des gaz de la décharge : 44 ^o .
Nombre total de tours :	142 157.
Vitesse moyenne :	100.8.
Travail effectif en chevaux de 75 kilogrammes :	75.86.
Consommation d'anhracite par cheval effectif :	516 ^{gr} .
"	de coke par cheval effectif : 96 ^{gr} .
"	totale de combustible par cheval effectif : 612 grammes.
Consommation totale d'eau par cheval effectif :	68'687
"	d'huile " : 9 ^{gr} ,74
"	de graisse " : 0 ^{gr} ,45
Travail indiqué :	109.9.
Rendement mécanique du moteur :	0.69.
Pression atmosphérique :	772 millimètres.
Température du gaz à l'entrée du moteur :	21 ^o ,5.
Consommation réduite à 0 ^o et 760 ^{mm} :	179 ^{m3} ,760.
Consommation par cheval-heure effectif :	2 370 litres.
Pouvoir calorifique du gaz :	1 480 calories.

CHAPITRE XII

MONOGRAPHIES DE QUELQUES MOTEURS

Le cadre de ce livre étant forcément restreint nous devons nous borner ici à décrire sommairement quelques moteurs choisis parmi les types les plus différents.

39. Moteurs du premier type. Moteur Lenoir. — Ce moteur est le premier qui ait fonctionné d'une façon satisfaisante, il date de 1860.

Il est horizontal, à double effet ; le cylindre moteur est venu de fonte avec une enveloppe dans laquelle circule l'eau de refroidissement. Il porte à droite et à gauche des glaces sur lesquelles viennent frotter les glissières des tiroirs que des contre-plaques maintiennent appuyées

sur elles. Un bâti en fonte soutient tout l'appareil et vient relier le cylindre aux paliers de l'arbre moteur. Celui-ci est conduit par une bielle commandée par la tige du piston, il porte des excentriques qui conduisent les deux tiroirs et un volant destiné à régulariser le mouvement.

La distribution, qui a été étudiée p. 113, est obtenue à l'aide de deux tiroirs, dont l'un, pourvu d'un diffuseur, a pour rôle la composition et l'admission du mélange tonnant, l'autre l'évacuation des gaz brûlés. L'allumage a lieu par une étincelle électrique obtenue à l'aide de piles et d'une bobine de Ruhmkorf.

La consommation de gaz n'est jamais descendue pour ce moteur au-dessous de 2 500 litres par cheval-heure.

Cette consommation assez forte s'explique par la grande quantité d'eau qu'il est nécessaire de faire passer dans l'enveloppe pour maintenir à une température convenable les parois du cylindre, qui sont léchés deux fois par tour par la flamme et le piston qui n'est pas, comme pour le moteur à simple effet, refroidi en partie par l'air extérieur.

Un des obstacles qu'a rencontré ce moteur est la difficulté que l'on éprouvait, surtout vers

1860, pour obtenir pour la tige de piston des garnitures étanches.

40. Moteurs du deuxième type, à compression, à quatre temps. Moteur horizontal Otto. — Le moteur Otto fut le premier moteur à compression préalable, il a droit, à ce titre, à toute notre attention, qu'il justifie d'ailleurs par une construction soignée et un très bon fonctionnement.

Ce moteur est horizontal et rappelle par sa disposition générale le type Corliss. Le cylindre est soutenu en porte-à-faux sur son bâti. Il est terminé par une culasse qui sert de glissière pour la tige de piston. Le volume de l'espace mort, laissé par le piston à bout de course est environ les $\frac{2}{3}$ du volume total du cylindre, c'est dans cet espace que s'effectue la compression du mélange tonnant.

Le moteur est à quatre temps; pendant la première course, le piston aspire le mélange d'air et de gaz, revient ensuite sur ses pas et comprime le mélange dans l'espace mort, puis, aussitôt le passage du point mort, le mélange tonnant est enflammé et pousse le piston en produisant du travail moteur; dans la course suivante, le piston expulse dans l'atmosphère la

plus grande partie des gaz brûlés et la machine se retrouve dans l'état du début.

Le travail moteur n'étant produit que tous les deux tours, on comprend la nécessité d'un volant d'une importance plus grande que pour le moteur précédent.

La distribution est produite par un tiroir plan que l'on voit sur la *fig.* 20 et qui est conduit par une bielle et une manivelle, située sur un arbre auxiliaire, placé sur le côté de la machine. Ce tiroir glisse entre la glace du cylindre qui est rapportée et une contre-plaque dont quatre écrous munis de ressorts permettent de régler le serrage. Le gaz arrive au tiroir par un conduit traversant la contre-plaque ; l'air, par un canal ménagé dans la glace du cylindre. La disposition des conduits est telle que le gaz est encore admis au cylindre, alors que l'afflux d'air a cessé ; nous en verrons la raison plus loin.

Le tiroir produit aussi l'allumage, qui est obtenu par un transport de flamme. Un brûleur permanent est disposé sur le dos de la contre-plaque, il enflamme au passage le gaz renfermé dans une poche du tiroir, remplie par un orifice spécial ; pour mettre cette masse de gaz enflammé en équilibre de pression avec les gaz comprimés dans le cylindre, on a ménagé

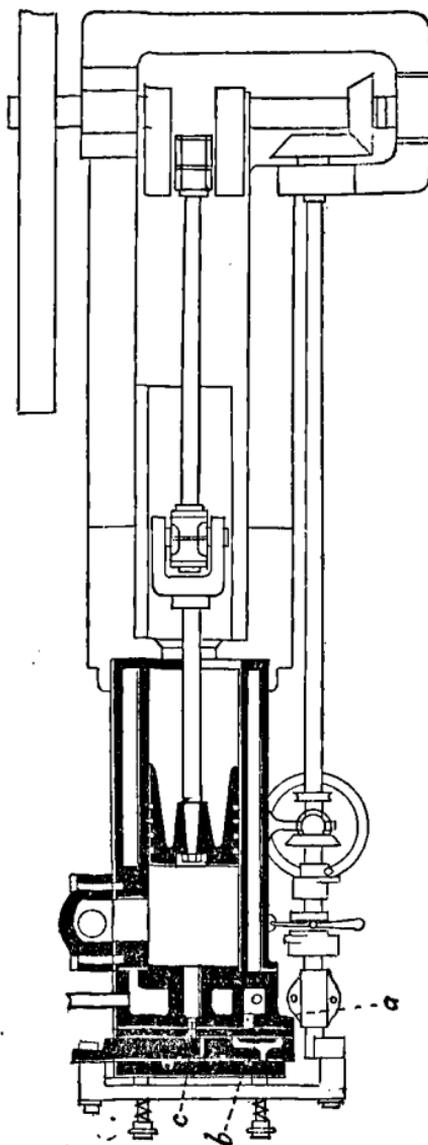


Fig. 20

un conduit de faible section qui vient la mettre en communication avec la lumière du cylindre. Quand la chambre d'allumage est arrivée, grâce au mouvement du tiroir, en face de la lumière du cylindre, l'équilibre de pression est obtenu et la flamme se communique au mélange tonnant du cylindre.

L'évacuation des gaz brûlés se fait par une soupape placée sur le côté de la machine et commandée par une came et un levier.

Le but que se proposait M. Otto en introduisant du gaz pur en fin de course, était de produire derrière le piston des couches de gaz de richesse différente.

Le mélange le plus riche se trouvant à la partie arrière facilitait beaucoup le rôle de l'allumeur. Par suite de la stratification des couches, la vitesse d'inflammation du mélange était retardée, nous avons déjà examiné ce point.

Une enveloppe d'eau entourait l'appareil et empêchait le cylindre d'atteindre une température trop élevée.

D'autres modèles comprennent deux cylindres, ce qui régularise évidemment l'allure de la machine. Pour les moteurs de grande force, le tiroir plat ne sert plus qu'à l'allumage, la distribution est opérée par des soupapes.

Un régulateur à boules vient, par l'intermédiaire d'un levier, agir sur une came tournant avec l'arbre de distribution, mais pouvant glisser dans le sens de son axe ; cette came a pour fonction d'ouvrir, lors de l'admission, la conduite qui amène le gaz. Quand la vitesse est trop considérable, cette came, déplacée par le régulateur, ne rencontre plus la tige de la soupape et le cylindre n'aspire que de l'air pur.

41. Moteur Simplex. — MM. Delamarre, Deboutteville et Malandin, les créateurs de cette machine, ont les premiers, en 1889, réalisé un moteur à gaz de la force de 100 chevaux, avec un seul cylindre.

Leur moteur est assez analogue extérieurement aux moteurs Otto avec un peu plus de simplicité. Le piston commande par bielle et manivelle l'arbre de couche qui porte deux volants. Un arbre auxiliaire commandé par le précédent vient transmettre le mouvement au tiroir, placé à la partie arrière de la machine. Ce tiroir très simple représenté sur la *fig.* 18 se compose d'une glissière en fonte portant deux ouvertures. Au moment de l'admission un conduit vient faire communiquer la lumière du cylindre avec l'espace où se forme le mélange

tonnant, puis le tiroir revenant sur la droite, la deuxième ouverture percée dans celui-ci met en relation la lumière du cylindre et par conséquent le mélange tonnant avec un espace constamment traversé par des étincelles électriques données par une bobine d'induction. Une fuite est ménagée entre le compartiment de l'allumeur et le tiroir, pour permettre au mélange tonnant de chasser les gaz brûlés qui empêcheraient l'inflammation. L'évacuation est produite par une soupape commandée par une came et un levier. Nous avons indiqué déjà le système employé pour produire la régulation. On emploie aussi pour ce moteur un régulateur pendulaire.

Pour mettre ce moteur en marche, on supprime la compression et on fait faire à la manivelle un quart de tour après le point mort de compression, on ouvre un robinet spécial qui donne alors accès au gaz, on fait reculer un peu le piston pour produire une petite compression et on provoque une étincelle.

Dans le cas où on a réussi à arrêter le piston à la position précédente, on peut se borner à ouvrir le robinet d'accès du gaz si la pression qui règne dans la conduite est suffisante, ce qui a lieu généralement. Un robinet disposé sur le cy-

lindre sert à supprimer la compression et facilite l'arrêt de la machine au point voulu.

Ce moteur s'alimente de préférence, au moins dès qu'il dépasse une certaine force, au gaz Dowson.

42. Moteur à pétrole Forest. — Le moteur vertical à pétrole de M. Forest se construit d'ordinaire avec 2, 4 ou 6 cylindres. Cette disposition permet d'obtenir jusqu'à trois impulsions motrices par tour, ce qui régularise beaucoup la marche ; en fait, sur le moteur à 4 cylindres, la vitesse de rotation est absolument régulière pendant un tour de la manivelle. L'admission est produite par une soupape qui introduit au cylindre le mélange tonnant. La composition de ce dernier est réglée par deux robinets gradués, disposés, l'un sur l'arrivée de l'air, l'autre sur la canalisation d'air carburé. Cet air est fourni par un carburateur réchauffé par l'eau de circulation et placé sur le côté du moteur, une brosse disposée dans ce carburateur et mue par la machine vient activer la carburation en multipliant les surfaces de contact de la gazoline et de l'air. Un régulateur, précédemment décrit, vient régler l'accès de l'air carburé en cas de variation de vitesse de la machine ; on peut d'ailleurs très facilement suspendre son action quand on veut forcer l'allure.

L'évacuation est produite par une soupape commandée par une came. Les comes des différents cylindres sont portées par un arbre spécial, auquel une transmission par engrenages et bielles communique un mouvement de rotation à une vitesse moitié de celle de l'arbre moteur. Cet arbre porte également le commutateur destiné à transmettre aux cylindres l'étincelle produite par une pile et une bobine.

Nous avons vu le fonctionnement du changement de marche ; on obtient le changement du point d'inflammation, à l'aide d'un manchon, placé sur le circuit inducteur, portant deux séries de touches et que l'on déplace à l'aide d'un levier. Le mouvement du levier fait changer en même temps les comes servant à l'évacuation ; en mettant le levier au stop, le passage des étincelles est interrompu et la machine s'arrête ; une quatrième position de ce levier est utilisée pour la mise en marche. Dans cette position, un troisième jeu de comes fait ouvrir la soupape d'évacuation et pendant la course d'échappement et pendant la première moitié de la course de compression, le travail nécessaire pour faire tourner la machine à bras est par conséquent plus faible.

On peut aussi, en laissant le levier à cette posi-

tion, faire marcher la machine à une allure plus faible que sa vitesse normale. En opérant ainsi, on laisse échapper la moitié de l'air carburé employé, en pure perte. Dans un nouveau modèle du même constructeur, cet inconvénient est évité et l'air carburé en excès rentre dans la canalisation.

43. Moteur Tenting. — Ce moteur est à 4 temps. Une soupape d'admission placée au fond du cylindre permet, par des ouvertures distinctes, l'introduction de l'air carburé par un orifice central et celle de l'air par un orifice annulaire de plus grande section. La soupape d'évacuation est commandée par une tige et un excentrique placé sur un arbre auxiliaire ; quand la vitesse augmente, un régulateur pendulaire vient intercaler un doigt entre la tige et la soupape, celle-ci ne pouvant se fermer, le vide ne se produit plus dans le cylindre et la soupape d'admission reste close jusqu'au ralentissement du moteur.

L'allumage s'obtient par une étincelle de rupture du circuit d'une bobine de Ruhmkorf.

44. Moteur Pygmée. — Le moteur Pygmée, de M. Léon Lefebvre, est à 4 temps ; il comporte des soupapes distinctes pour l'admission de l'air et celle de l'air carburé.

La soupape d'évacuation, dont la levée peut être réglée à volonté, est commandée par une came ; un régulateur à force centrifuge peut intercaler, au moment voulu, un taquet entre la came et la soupape et, en empêchant celle-ci de se fermer, arrête l'admission.

Dans le moteur à deux cylindres construit spécialement pour les voitures automobiles, la disposition des taquets est faite de telle sorte qu'en terrain plat, par exemple, et avec la vitesse ordinaire du véhicule, le taquet du deuxième cylindre est en action et le premier cylindre seul travaille, si dans une descente la vitesse s'accélère le taquet du premier cylindre est en jeu et suspend son travail ; au contraire, dans une montée, la vitesse venant à diminuer les deux taquets disparaissent et le moteur fonctionne à deux cylindres. On peut d'ailleurs, en agissant sur la tringle qui porte les taquets, stopper les deux cylindres ou les mettre en action tous deux.

Le modèle à deux cylindres de 6 chevaux pèse 140 kilogrammes, soit seulement 23 kilogrammes par cheval.

45. Moteurs à compression à deux temps. Moteur Clerk. — Ce moteur, à compression préalable et à simple effet, donne à l'arbre moteur une impulsion par tour. Il comporte deux

cylindres, dont l'un est le cylindre de travail qui commande l'arbre moteur ; le second ou cylindre *déplaceur* est conduit par un bouton fixé sur le volant et calé à 90° en avance de la manivelle.

Ce dernier admet, pendant le mouvement, d'abord, le mélange tonnant, puis une certaine quantité d'air pur, qui, théoriquement au moins, ne se mélange pas, grâce au diffuseur placé à l'entrée de ce cylindre. Aux $\frac{3}{4}$ de la course d'aller, la communication est établie, d'une part, entre le cylindre moteur et l'atmosphère, d'autre part, entre les deux cylindres ; l'air pur, confiné à l'entrée du déplaceur passe dans le cylindre de travail et en chasse les gaz brûlés, puis le mélange tonnant vient prendre sa place, la communication avec l'extérieur est fermée et, pendant les $\frac{3}{4}$ de la course de retour environ, la compression a lieu au cylindre de travail. Le mélange tonnant qui, grâce au fluide de balayage n'est pas dilué, est enflammé aussitôt le passage du point mort et la détente commence pour se terminer au $\frac{3}{4}$ de la course. Ce dispositif est très ingénieux, malheureusement le mélange tonnant diffuse un peu dans le fluide de balayage. L'échappement se fait par une série

de cannelures disposées dans le cylindre de travail de façon à faire communiquer avec l'atmosphère la partie postérieure de ce cylindre dès que le piston est arrivé aux $\frac{3}{4}$ de sa course.

L'allumage est obtenu par transport de flamme. Un régulateur gouverne l'admission en immobilisant, lorsque la vitesse du moteur augmente, la tige de la valve d'admission commandée normalement par le tiroir.

Ce moteur est muni d'un self starter.

46. Moteur Benz. — Le moteur Benz est un moteur à deux temps à compression ; il rappelle, comme beaucoup d'autres moteurs à gaz, l'aspect d'une machine Corliss. Son fonctionnement est le suivant : considérons la machine au moment où le cylindre ayant été chargé du mélange tonnant sous pression, l'explosion a lieu sous l'influence d'une étincelle électrique ; la détente se produit, le piston revient ensuite sur lui-même, la soupape d'évacuation se soulève et fait communiquer l'intérieur du cylindre avec l'atmosphère, puis, presque aussitôt, une autre soupape se soulève également et projette à l'intérieur du cylindre de l'air comprimé, emmagasiné dans un réservoir et qui sert à expulser les gaz brûlés ; ceux-ci étant complètement chassés dès que le piston est arrivé à mi-course, les

deux soupapes qui sont mues par un système de cames et de leviers, se referment et alors commence la compression de l'air resté dans le cylindre. Une pompe placée sur le côté du cylindre, et dont le piston est relié par une traverse à la tige du piston moteur, a pour fonction de comprimer et d'injecter dans l'air pur enfermé dans le cylindre moteur, la quantité de gaz nécessaire.

Elle aspire le gaz pendant toute la course, mais ne le refoule au cylindre moteur que lorsque les deux soupapes sont refermées. A cet effet, le conduit qui fait communiquer les deux cylindres est fermé par une troisième soupape qu'un ressort maintient appliquée sur son siège et qui est ouverte au moment voulu par un levier commandé par un excentrique. Le régulateur de la machine gouverne une soupape placée sur le tuyau qui amène le gaz à cette pompe.

La partie antérieure du cylindre qui est fermé et muni d'un presse-étoupes au passage de la tige, est employée pour aspirer dans l'atmosphère et comprimer dans un réservoir placé sous le cylindre, l'air nécessaire au balayage des gaz brûlés et à la préparation de la charge prochaine ; chacune de ces opérations prend à peu près la moitié de l'air fourni au réservoir.

L'étincelle est fournie par une bobine de Ruhmkorf alimentée par une petite machine dynamo-électrique conduite par le moteur lui-même.

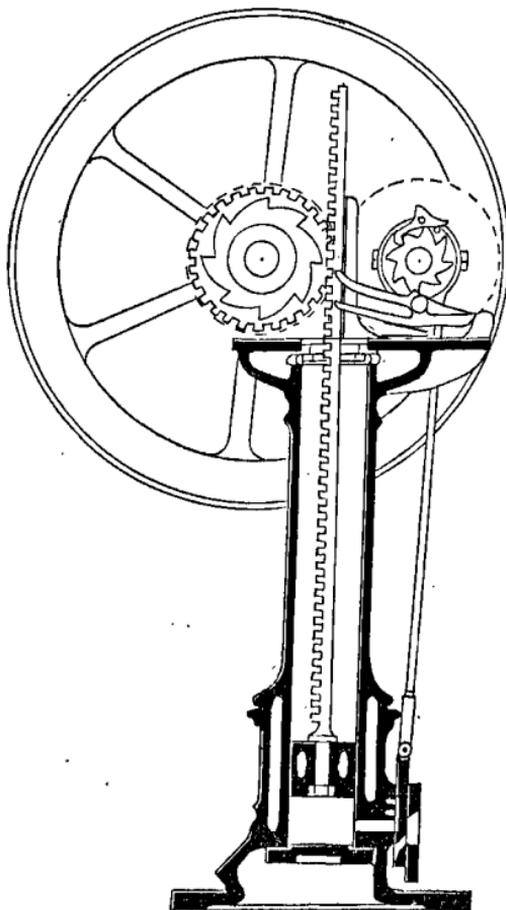
La consommation de gaz est d'un peu plus de 700 litres par heure et par cheval.

47. Moteurs atmosphériques. Moteur Otto et Langen (fig. 21). — Ce moteur est vertical. Le piston porte une crémaillère qui actionne l'arbre moteur pendant la descente seulement. Pour arriver à ce résultat, la roue dentée qui est mise en mouvement par la crémaillère, est folle sur l'arbre moteur auquel elle n'est reliée que par de petits cylindres en acier qui se coincent dans leur logement quand le mouvement relatif de la roue et de l'arbre a lieu dans un certain sens pour se décoincer et laisser la roue libre quand le mouvement tend à se produire en sens inverse.

Au début de la course d'aller, le volant entraîne la roue dentée et, par suite, le piston, qui aspire le mélange tonnant ; au moment de l'explosion, le piston est projeté violemment vers le haut, communique à la roue dentée une vitesse supérieure à celle de l'arbre et produit le décoincement ; le piston et sa crémaillère sont par suite complètement libres. Quand le piston a été

arrêté et redescend sous l'action de la pression atmosphérique, la roue dentée vient se caler sur

Fig. 21



l'arbre, auquel elle communique l'impulsion qui lui est transmise par le piston. Vers la fin

de la descente, la contre-pression qui se développe sous le piston en ralentit la marche, les coins se dégagent et le piston, rendu à nouveau libre, continue son mouvement et expulse les gaz brûlés. Un arbre spécial a pour fonction de commander le tiroir de distribution et de relever le piston. Des deux excentriques fous sur cet arbre, auquel ils ne sont reliés que par une roue à rochet et par intermittence, l'un actionne le tiroir à la façon ordinaire et l'autre relève, à l'aide d'un levier, le piston de la quantité voulue pour l'admission.

Une caractéristique de ce moteur est que le travail produit, autrement dit le nombre de coups de piston, toutes choses égales d'ailleurs, n'a aucune relation avec le nombre des tours du volant.

Nous avons décrit précédemment le mode de distribution et d'allumage de ce moteur, qui est le seul moteur atmosphérique qui ait été construit jusqu'ici. Sa consommation courante s'abaisse au-dessous de 750 litres par cheval-heure ; c'est donc un bon moteur, malheureusement, les différentes liaisons mécaniques de l'appareil laissent fort à désirer après quelque temps de fonctionnement et il est actuellement à peu près abandonné.

48. Moteurs mixtes. Moteur de Bisschop.

— Cette machine appartient à la catégorie mixte des moteurs qui utilisent, en partie seulement, les propriétés des moteurs atmosphériques.

C'est une machine verticale, à bielle renversée. Le cylindre venu de fonte avec son bâti, porte un grand nombre d'ailettes qui, baignées par l'air environnant, jouent le rôle de l'enveloppe d'eau des moteurs ordinaires. L'arbre à manivelle est excentré par rapport à la tige du piston ; cette disposition permet à celui-ci d'avoir, pendant la course d'aller où se produit l'explosion, une vitesse plus considérable que pendant la course de retour, disposition favorable pour l'utilisation.

Nous avons décrit précédemment le mode de fonctionnement du tiroir qui est actionné par un excentrique et un balancier. L'allumage a lieu par aspiration de flamme.

La composition du mélange tonnant est faite par le passage de l'air et du gaz à travers des soupapes formées d'une plaque de caoutchouc venant s'appliquer sur une plaque percée de trous dont le nombre a été convenablement déterminé.

Ce moteur fonctionne dans d'excellentes conditions, il n'est employé que pour de faibles forces, de 3 à 60 kilogrammètres. Le graissage

se borne à très peu de chose, le constructeur recommandant de ne graisser ni le piston ni le tiroir.

Sa consommation de gaz est assez élevée, mais ce point a peu d'importance pour des moteurs dont la consommation maxima ne dépasse pas 0^{fr},10 par heure de travail.

BIBLIOGRAPHIE

1678 et 1682

- ABBÉ HAUTEFEUILLE. — *Pendule perpétuelle, avec la manière d'élever l'eau par le moyen de la poudre à canon* (1678).
- *Réflexions sur quelques machines à élever les eaux* (1682).

1824

- CARNOT (SADI). — *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*. Paris. Bachelier.Gauthier-Villars et fils, successeurs.

1834

- CLAPEYRON. — *Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur*. Journal de l'École Polytechnique, t. XIV.

1861

- ARMENGAUD. — *Le moteur Lenoir*. Publication industrielle, t XIII.

1862

TRESCA. — *De l'invention et de l'avenir des machines à gaz combustibles.* Annales du Conservatoire impérial des Arts et Métiers, t. II, p. 121.

1871

BOURGET. — *Théorie mathématique des machines à air chaud.* Paris, Gauthier-Villars.

1874

LÉON POCHET. — *Nouvelle mécanique industrielle.* Paris, Dunod.

1878

MUSIL. — *Moteurs pour petites forces.* Brunswick, Viewieg.

WITZ. — *De l'effet thermique d'une enceinte sur les gaz qu'elle renferme.* Annales de Phys. et de Chimie, t. XV.

1879

BRAUER et SLABY. — *Versuche über Leistung und Brenn Material Verbrauch für Klein motoren.* Berlin, Springer.

WITZ. — *Du pouvoir refroidissant de l'air aux températures élevées.* Annales de Phys. et de Chimie, t. XVIII.

1881

- DEVILLEZ. — *Traité élémentaire de la chaleur*. Mons. Monceaux.
- WITZ. — *Du pouvoir refroidissant des gaz et vapeurs*. Annales de Phys. et de Chimie, t. XXIII.
- MALLARD et LECHATÉLIER. — *Vitesse de propagation de la flamme* Comptes rendus de l'Acad. des Sciences.

1882

- SCHÆTLER. — *La machine à gaz*. Leipzig. Gœriz et Putlitz.
- BERTHELOT et VIEILLE. — *Sur l'onde explosive*. Comptes rendus de l'Acad. des Sciences.

1883

- DUGALD-CLERK. — *Théorie des moteurs à gaz*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers.
- WITZ. — *De l'action de paroi dans les moteurs à gaz tonnant*. Société industrielle du Nord, t. XI.
- *Étude sur les moteurs à gaz tonnant*. Paris, Gauthier-Villars.
- MALLARD et LECHATÉLIER. — *Recherches expérimentales et théoriques sur la combustion des mélanges gazeux*. Paris, Dunod.

1884

- WITZ. — *De la combustion des mélanges tonnants en différents états de dilution*, Comptes rendus de l'Acad. des Sciences, t. XCIX.

SCHERTER. — *Ueber die gegenwärtigen Stand de theoretischen Behandlung des Gasmachine.* Schillings Journal, Munich.

BERTHELOT et VIEILLE. — *Chaleurs spécifiques à volume constant.* Comptes rendus de l'Acad. des Sciences.

1885

WITZ. — *Pouvoir calorifique du gaz d'éclairage.* Annales de Physique et de Chimie.

— *Chaleur et température de combustion du gaz d'éclairage.* Société industrielle du Nord, t. XIII.

— *Du pouvoir calorifique du gaz d'éclairage en différents états de dilution.* Comptes rendus de l'Acad. des Sciences, t. C.

— *Du régime de combustion des mélanges tonnants formés par le gaz d'éclairage.* Comptes rendus de l'Acad. des Sciences, t. C.

1886

DUGALD CLERK. — *Sur l'explosion des mélanges gazeux*; publié dans les Proceedings of the Institution of Civil Engineers.

WITZ. — *Réponse à quelques objections contre l'action de paroi dans les moteurs à gaz.* Bulletin de la Société Industrielle du Nord.

RUSPOLI. — *Les moteurs domestiques.* Naples.

SLABY. — *Die theorie der Verbrennung.*

SLABY. — *Der Einfluss der Wandungen in den Gasmotoren.* Bulletin de la Société des Ingénieurs allemands.

1887

SALANSON et DEBUCHY. — *Recherches expérimentales sur le moteur à gaz.* Bulletin de la société technique de l'industrie du gaz en France.

DOWSON. — *Comparaison entre le gaz Dowson et la vapeur.* Proceedings of the Institution of Civil Engineers.

1888

WITZ. — *Graissage des moteurs à gaz.* Bulletin de la Société industrielle du Nord.

HOPKINSON, KENNEDY et BEAUCHAMP TOWER. — *Rapports sur le concours de la Société des Arts de Londres.*

LOTHAMMER. — *Notice sur le système d'appareil portatif Lothammer.* Douai.

1889

WITZ. — *Les moteurs à gaz.* Revue technique de l'Exposition Universelle.

WEHLING. — *Les moteurs à gaz et à pétrole à l'Exposition de Paris.*

1890

- WITZ. — *Théorie des moteurs thermiques*. Revue générale des Sciences.
- SLABY. — *Recherches calorimétriques relatives aux moteurs à gaz*. Berlin.
- W. ROBINSON. — *Machines à gaz et à pétrole*. New-York.

1891

- WITZ. — *Rendement photogénique des foyers de lumière*. Comptes rendus de l'Acad. des Sciences.
- *Les moteurs à gaz de grande puissance*. Bulletin de la Société d'encouragement.
- SLABY. — *D^r Nicolas Auguste Otto*, Berlin.
- CHAUVEAU. — *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz, gaz de houille, gaz pauvres, air carburé*. Paris, Baudry.
- BERTHELOT et VIEILLE. — *Sur l'onde explosive*. Comptes rendus de l'Acad. des Sciences.

1892

- WITZ. — *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz*, 3^e édition, Paris, Bernard.
- G. RICHARD. — *Les nouveaux moteurs à gaz et à pétrole*. Paris. Dunod.
-

TABLE DES MATIÈRES



	Pages
Préface	5
Préface de la 2 ^e édition	11

CHAPITRE PREMIER

Des différents moteurs thermiques. Leur classification ; leur fonctionnement

Divisions des moteurs thermiques.	13
Moteurs à vapeur.	16
// à air chaud.	18
// à gaz.	19

CHAPITRE II

Propriétés des gaz

Lois de Mariotte et de Gay-Lussac.	21
Chaleur spécifique. Calorie	23
Équivalent mécanique de la chaleur	24

	Pages
Chaleur interne d'un corps	25
Échauffement sous volume constant . . .	27
Échauffement sous pression constante . .	27
Dilatation des gaz à température constante ou détente isothermique.	28
Détente adiabatique des gaz.	29
Modifications introduites dans la théorie des gaz par la variation des chaleurs spécifiques avec la température.	30
Chaleur interne.	32
Chaleur spécifique.	32
Quantité de chaleur à fournir pendant l'é- chauffement.	33
Échauffement à volume constant.	33
Échauffement à pression constante.	34
Compression d'un gaz à température constante ou compression isothermique	34
Compression adiabatique.	35

CHAPITRE III

Étude de la combustion des mélanges gazeux

Inflammation	39
Vitesse de propagation de la flamme.	41
De l'action de paroi.	45

CHAPITRE VI

Des différents mélanges tonnants

	Pages
Gaz d'éclairage	48
Gaz pauvres. Gaz à l'eau	54
Acétylène	58
Air carburé.	61

CHAPITRE V

Parallèle entre les différents moteurs

Comparaison des moteurs à air et à gaz . . .	63
Classification des moteurs à gaz.	69
Définition des cycles théoriques, et calcul des rendements	70
Moteurs du premier type	71
" du deuxième type	74
" du troisième type ou moteurs atmosphériques	76

CHAPITRE VI

Rendement des différents cycles

Tableaux de comparaison.	81
Causes d'abaissement des rendements	86

CHAPITRE VII

Des différents combustibles

	Pages
Gaz d'éclairage	96
Gaz à l'eau et gaz pauvre.	99
Acétylène	102
Air carburé.	103

CHAPITRE VIII

Éléments de construction des moteurs

Distribution et allumage	103
Composition du mélange	109
Distribution.	109
Inflammation	111
Étude de quelques systèmes de distribution et d'allumage	113
Système Lenoir.	113
" Bénier.	114
" de Bisschop	115
" Otto et Langen.	116
" Otto	117
" Clerk	119
" Kœrting	121
" Otto-Crosley.	122

CHAPITRE IX

*Réglage de la vitesse. Self starter.
Changement de marche*

	Pages
Réglage de la vitesse	125
Des régulateurs.	128
Moteur vertical Otto	129
" à pétrole Forest	130
" Niel.	131
" Charon.	131
Mise en train. Self starter	132
Changement de marche	134

CHAPITRE X

Graissage

Nécessité du graissage.	136
---------------------------------	-----

CHAPITRE IX

Essai d'un moteur à gaz

Essai d'un moteur	140
Résultats de différents essais	144

CHAPITRE XII

Monographies de quelques moteurs

	Pages
Moteur Lenoir	149
" Otto	151
" Simplex	155
" à pétrole Forest	157
" Tenting	159
" Pygmée	159
" Clerk	160
" Benz	162
" Otto et Langen	164
" de Bisschop	167
BIBLIOGRAPHIE	169

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS.

Envoi *franco* contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

THERMOCHIMIE.

DONNÉES ET LOIS NUMÉRIQUES.

PAR

M. BERTHELOT,

Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences,

Professeur au Collège de France.

TOME I : Les lois numériques, XVII-737 pages. — TOME II : les données expérimentales, 878 pages.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8; 1897, SE VENDANT
ENSEMBLE..... 50 FR.

Extrait de la Note de M. BERTHELOT accompagnant la présentation de son Ouvrage à l'Académie des Sciences (séance du 8 juin 1897).

Depuis la publication de mon *Essai de Mécanique chimique* (1879), et sous l'impulsion des idées qui s'y trouvaient développées, les recherches expérimentales de Thermo-chimie ont pris une extension tous les jours plus considérable, dans mon laboratoire et dans ceux des autres savants, français et étrangers. En effet, j'ai poursuivi mes travaux sans relâche, et de nombreux élèves les ont continués et développés sous ma direction....

Toutefois, par une conséquence presque inévitable, ce développement rapide de la Thermo-chimie a fini par amener une certaine confusion... Non seulement les résultats sont épars dans les recueils spéciaux, mais une difficulté, plus grande peut-être, est née de cette circonstance que les chiffres relatifs à la formation des combinaisons n'ont été que rarement mesurés directement.

Il était donc indispensable de revoir toutes ces valeurs. Dès lors, il fallait refaire tous les calculs, en suivant un plan uniforme, afin d'obtenir des données comparables entre elles.

J'ai cru utile, non seulement de donner les valeurs rectifiées, mais aussi d'exposer à propos de chaque nombre quelle était l'expérience spéciale dont il est déduit et quelles étaient les autres données expérimentales, à l'aide desquelles le nombre déduit de cette expérience a été calculé.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LES MÉTHODES NOUVELLES
DE LA
MÉCANIQUE CÉLESTE,

Par H. POINCARÉ,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences,

TROIS BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- TOME I : Solutions périodiques. Non-existence des intégrales uniformes. Solutions asymptotiques 1892. 12 fr.
TOME II : Méthodes de MM. Newcomb, Gylden, Lindstedt et Bohlin; 1894. 14 fr.
TOME III : Invariants intégraux. Stabilité. Solutions périodiques du deuxième genre. Solutions doublement asymptotiques. Prix pour les souscripteurs. 12 fr.

UN FASCICULE (200 PAGES) A PARU.

ŒUVRES DE LAGUERRE

PUBLIÉES SOUS LES AUSPICES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,

Par MM. Ch. HERMITE, H. POINCARÉ et E. ROUCHÉ,

Membres de l'Institut.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 SE VENDANT SÉPARÉMENT.

- TOME I : Algèbre. Calcul intégral; 1898. 15 fr.
TOME II : Géométrie. (Sous presse.)

PRÉCIS ÉLÉMENTAIRE

DE LA THÉORIE

DES FONCTIONS ELLIPTIQUES

AVEC TABLES NUMÉRIQUES ET APPLICATIONS.

Par M. Lucien LÉVY,

Examineur d'admission et Répétiteur d'analyse à l'École Polytechnique.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1898. 7 FR. 50 C

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

INTRODUCTION

A LA

GÉOMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE

SUIVANT LA MÉTHODE DE H. GRASSMANN,

Par C. BURALI-FORTI,

Professeur à l'Académie militaire de Turin,

UN VOLUME IN-8, AVEC FIGURES; 1897..... 4 FR. 50 C.

COURS DE PHYSIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS AUX ÉCOLES SPÉCIALES

(conforme aux derniers programmes),

PAR

James CHAPPUIS,

Agrégé Docteur ès Sciences,
Professeur de Physique générale
à l'École Centrale
des Arts et Manufactures.

Alphonse BERGET,

Docteur ès Sciences,
Attaché au Laboratoire des recherches
physiques à la Sorbonne.

UN BEAU VOLUME, GRAND IN-8 (25^{cm} × 16^{cm}) DE IV-697 PAGES,
AVEC 463 FIGURES.

Broché..... 14 fr. | Relié cuir souple..... 17 fr.

EXPLOSIFS NITRÉS.

TRAITÉ PRATIQUE CONCERNANT LES PROPRIÉTÉS, LA FABRICATION ET
L'ANALYSE DES SUBSTANCES ORGANIQUES EXPLOSIBLES NITRÉES, Y
COMPRIS LES FULMINATES, LES POUDRES SANS FUMÉE ET LE CEL-
LULOÏD.

Par P. Gerald SANFORD.

de l'Imperial College, Chimiste conseil de la Cotton Powder Company.

TRADUIT, REVU ET AUGMENTÉ

Par J. DANIEL,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

UN VOLUME IN-8, AVEC 51 FIG. ET 1 PL. FRONTISPICE; 1898. 6 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

TOME IV (2^e Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

3^e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures..... 8 fr.

4^e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche..... 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES.

Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs des quatre volumes du Cours de Physique. In-8; 1891... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viendront compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

1^{er} SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.

LES BALLONS-SONDES

DE MM. HERMITE ET BESANÇON,

ET LES ASCENSIONS INTERNATIONALES,

PAR

WILFRID DE FONVIELLE,

Secrétaire de la Commission internationale d'Aéronautique,

PRÉCÉDÉ D'UNE INTRODUCTION

Par **M. BOUQUET DE LA GRYE,**

Membre de l'Institut,

Président de la Commission scientifique d'Aérostation de Paris.

Un volume in-18 Jésus avec 27 figures; 1898..... 2 fr. 75 c.

LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE

ANNEXÉ A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE,

Par **M. Eric GÉRARD,**

Directeur de l'Institut Electrotechnique Montefiore.

5^e ÉDITION, REFONDUE ET COMPLÉTÉE.

TOME I : Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques, avec 381 figures; 1897..... 12 fr.

TOME II : Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Application de l'électricité à la télégraphie et à la téléphonie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage et à la métallurgie. Avec 378 figures; 1898..... 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

THÉORIE

DES

FONCTIONS ALGÈBRIQUES

DE DEUX VARIABLES INDÉPENDANTES,

PAR

Émile PICARD,

Membre de l'Institut,
Professeur à l'Université de Paris.

Georges SIMART,

Capitaine de frégate,
Répétiteur à l'École Polytechnique.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I, grand in-8 de vi-246 pages; 1897..... 9 fr.
TOME II..... (En préparation.)

LA

PRATIQUE DU TEINTURIER

PAR

JULES GARÇON,

Ingénieur-Chimiste, Licencié ès Sciences.

TROIS VOLUMES IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Les Méthodes et les essais de teinture. Le succès en teinture;
1894..... 3 fr. 50 c.
TOME II : Le Matériel de teinture. Avec 245 figures; 1894..... 10 fr.
TOME III : Les Recettes types et les procédés spéciaux de teinture; 1897.
9 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LE
LABORATOIRE D'ÉLECTRICITÉ.
NOTES ET FORMULES,

Par le **D^r J.-A. FLEMING**,
de l'*University College* de Londres.

Traduit de l'anglais sur la 2^e édition et augmenté d'un Appendice.

Par **J.-L. ROUTIN**,
Ancien Élève de l'École Polytechnique.

UN VOLUME IN-8, AVEC FIGURES; 1897.

BROCHÉ..... 6 FR. — CARTONNÉ..... 7 FR. 50 C.

ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE

COURS SUPÉRIEUR
DE MANIPULATIONS DE PHYSIQUE

PRÉPARATOIRE AUX CERTIFICATS D'ÉTUDES SUPÉRIEURES ET A LA LICENCE.

Par **M. Aimé WITZ**,
Docteur ès Sciences, Ingénieur des Arts et Manufactures,
Professeur aux Facultés catholiques de Lille.

2^e ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE. IN-8, AVEC 138 FIGURES; 1897. 10 FR.

PRINCIPES

DE LA

THÉORIE DES FONCTIONS ELLIPTIQUES
ET APPLICATIONS,

PAR

P. APPELL,
Membre de l'Institut, Professeur
à l'Université de Paris.

E. LACOUR,
Maître de Conférences à l'Université
de Nancy.

UN BEAU VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1897..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

Fondées par M.-C. LECHALAS, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU COURS DE MACHINES A VAPEUR
DE L'ÉCOLE CENTRALE.

PAR

ALHEILIG,

Ingénieur de la Marine,
Ex-Professeur à l'École d'application
du Génie maritime.

Camille ROCHE,

Industriel,
Ancien Ingénieur de la Marine.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. I.) :

TOME I : Thermodynamique théorique et applications. La machine à vapeur et les métaux qui y sont employés. Puissance des machines, diagrammes indicateurs. Freins. Dynamomètres. Calcul et dispositions des organes d'une machine à vapeur. Régulation, épures de détente et de régulation. Théorie des mécanismes de distribution, détente et changement de marche. Condensation, alimentation. Pompes de service. — Volume de XI-604 pages, avec 412 figures; 1895. **20 fr.**

TOME II : Forces d'inertie. Moments moteurs. Volants régulateurs. Description et classification des machines. Machines marines. Moteurs à gaz, à pétrole et à air chaud. Graissage, joints et presse-étoupes. Montage des machines et essais des moteurs. Passation des marchés. Prix de revient, d'exploitation et de construction. Servo-moteurs. Tables numériques. — Volume de IV-560 pages, avec 281 figures; 1895. **18 fr.**

CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

E. DEHARME,

Ingénieur principal du Service central
de la Compagnie du Midi.

A. PULIN,

Ingénieur, Inspecteur principal
de l'Atelier central des chemins de fer
du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E. I.). **15 fr.**

VERRE ET VERRERIE

PAR

Léon APPERT et Jules HENRIVAUX,

Ingénieurs.

Grand in-8, avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches; 1894 (E. I.). **20 fr.**

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **M. C. BRICKA**,

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : Études. — Construction: — Voie et appareils de voie. — Volume de VIII-634 pages avec 326 figures; 1894..... 20 fr.

TOME II : Matériel roulant et Traction. — Exploitation technique. — Tarifs. — Dépenses de construction et d'exploitation. — Régime des concessions. — Chemins de fer de systèmes divers. — Volume de 709 pages, avec 177 figures; 1894..... 20 fr.

COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TULES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par **M. J. DENFER**,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P.).. 20 FR.

CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par **M. J. DENFER**,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.).

TOME I : Généralités sur la fonte, le fer et l'acier. — Résistance de ces matériaux. — Assemblages des éléments métalliques. — Chainages, linteaux et poitrails. — Planchers en fer. — Supports verticaux. Colonnes en fonte. Poteaux et piliers en fer. — Grand in-8 de 584 pages avec 479 figures; 1894..... 20 fr.

TOME II : Pans métalliques. — Combles. — Passerelles et petits ponts. — Escaliers en fer. — Serrurerie. (Ferremonts des charpentes et menuiseries. Paratonnerres. Clôtures métalliques. Menuiserie en fer. Serres et vérandas). — Grand in-8 de 626 pages avec 574 figures; 1894..... 20 fr.

ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par **M. AI. GOUILLY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG.; 1894 (E. I.).... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par **Henri DE LAPPARENT**,

Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, DES CLIMATS, DES SOLS, ETC., SUR LA QUALITÉ DU VIN, VINIFICATION, CUVÉRIE ET CHAIS, LE VIN APRÈS LE DÉCUVAGE, ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GRAND IN-8 DE XII-533 PAGES, AVEC 111 FIG. ET 28 CARTES DANS LE TEXTE; 1895 (E. I.)..... 12 FR.

CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par **M. A. CRONEAU**,

Ingénieur de la Marine,

Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 ET ATLAS; 1894 (E. I.).

TOME I : Plans et devis. — Matériaux. — Assemblages. — Différents types de navires. — Charpente. — Revêtement de la coque et des ponts. — Gr. in-8, de 379 pages avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4° doubles, dont 2 en trois couleurs; 1894. 18 fr.

TOME II : Compartimentage. — Cuirassement. — Pavois et garde-corps. — Ouvertures pratiquées dans la coque, les ponts et les cloisons. — Pièces rapportées sur la coque. — Ventilation. — Service d'eau. — Gouvernails. — Corrosion et salissure. — Poids et résistance des coques. — Grand in-8 de 616 pages avec 359 fig.; 1894. 15 fr.

PONTS SOUS RAILS ET PONTS-ROUTES A TRAVÉES
MÉTALLIQUES INDÉPENDANTES.

FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX

Par **Ernest HENRY**,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 267 FIG.; 1894 (E. T. P.).. 20 FR.

Calculs rapides pour l'établissement des projets de ponts métalliques et pour le contrôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique (économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES

TERRES CUITES.

PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par **E. BOURRY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 755 PAGES, AVEC 349 FIG.; 1897 (E. I.). 20 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

BLANCHIMENT ET APPRÊTS TEINTURE ET IMPRESSION

PAR

Ch.-Er. GUIGNET,

Directeur des teintures aux Manufac-
tures nationales
des Gobelins et de Beauvais.

F. DOMMER,

Professeur à l'École de Physique
et de Chimie industrielles
de la Ville de Paris.

E. GRANDMOUGIN,

Chimiste, ancien préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse.

UN VOLUME GRAND IN-8 DE 674 PAGES, AVEC 368 FIGURES ET ÉCHAN-
TILLONS DE TISSUS IMPRIMÉS; 1893 (E. I.)..... 30 FR.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par **M. A. JOANNIS,**

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux,
Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 (E. I.).

TOME I : Généralités. Carbures. Alcools. Phénols. Éthers. Aldéhydes. Cétones.
Quinones. Sucres. — Volume de 688 pages, avec figures; 1896..... 20 fr.

TOME II : Hydrates de carbone. Acides monobasiques à fonction simple. Acides
polybasiques à fonction simple. Acides à fonctions mixtes. Alcalis organiques. Amides.
Nitriles. Carbylamines. Composés azoïques et diazoïques. Composés organo-métal-
liques. Matières albuminoïdes. Fermentations. Conservation des matières alimentaires.
Volume de 718 pages, avec figures; 1896..... 15 fr.

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS VICINAUX,

Par **M. Georges LECHALAS,**

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. T. P.).

TOME I : Notions sur les trois pouvoirs. Personnel des Ponts et Chaussées. Principes
d'ordre financier. Travaux intéressant plusieurs services. Expropriations. Dommages
et occupations temporaires. — Volume de CXLVII-536 pages; 1889..... 20 fr.

TOME II (I^{re} PARTIE) : Participation des tiers aux dépenses des travaux publics.
Adjudications. Fournitures. Régie. Entreprises. Concessions. — Volume de VIII-
399 pages; 1893..... 10 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **M. Maurice D'OCAGNE,**

Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées,
Répétiteur à l'École Polytechnique.

UN VOLUME GRAND IN-8, DE XI-428 PAGES, AVEC 340 FIGURES; 1896
(E. T. P.)..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS.

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la science, de l'art et des applications pratiques.

A côté d'Ouvrages d'une certaine étendue, comme le *Traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie photographique* de M. Fourtier, la *Photographie médicale* de M. Londe, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

LES PAPIERS PHOTOGRAPHIQUES AU CHARBON,

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.

(COURS PROFESSÉ A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE.)

Par R. COLSON, Capitaine du Génie, Répétiteur
à l'École Polytechnique.

Un volume grand in-8; 1898..... 2 fr. 75 c.

LA RETOUCHE DU CLICHÉ.

Retouche chimique, physique et artistique.

Par A. COURRÈGES.

In-18 jésus; 1898..... 1 fr. 50 c.

LA PRATIQUE DE LA PHOTOTYPOGRAVURE AMÉRICAINE.

Par M. Wilhelm CRONENBERG. — Traduit par M. C. FÉRY.

In-18, avec 66 figures et 13 planches; 1898..... 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE.

Par M. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens.. 32 fr.

Chaque volume se vend séparément..... 16 fr.

Un Supplément, mettant cet important Ouvrage au courant des derniers travaux, est en préparation.

LA TRIPLICE PHOTOGRAPHIQUE DES COULEURS ET L'IMPRIMERIE.

Système de Photochromographie LOUIS DUCOS DU HAURON.

Par ALCIDE DUCOS DU HAURON.

In-18 jésus de v-488 pages; 1897..... 6 fr. 50 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par M. C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.
Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1^{er} Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892. 14 fr.

2^e Supplément (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. 14 fr.

Les 6 volumes se vendent ensemble..... 72 fr.

LA PRATIQUE DES PROJECTIONS.

Étude méthodique des appareils. Les accessoires. Usages et applications diverses des projections. Conduite des séances;

Par M. II. FOURTIER.

2 vol. in-18 jésus.

TOME I. Les Appareils, avec 66 figures; 1892..... 2 fr. 75 c.

TOME II. Les Accessoires. La Séance de projections, avec 67 fig.; 1893. 2 fr. 75 c.

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE INDUSTRIELLE,

THÉORIE ET PRATIQUE,

Par Ch. FÉRY et A. BURAIS.

In-18 jésus, avec 94 figures et 9 planches; 1896..... 5 fr.

L'ART DE RETOUCHER LES NÉGATIFS PHOTOGRAPHIQUES,

Par C. KLARY, Artiste photographe.

4^e tirage. In-18 jésus; 1897..... 2 fr.

**L'ART DE RETOUCHER EN NOIR LES ÉPREUVES POSITIVES
SUR PAPIER.**

Par C. KLARY, Artiste photographe.

In-18 jésus. Nouveau tirage; 1898..... 1 fr.

LE FORMULAIRE CLASSEUR DU PHOTO-CLUB DE PARIS.

Collection de formules sur fiches renfermées dans un élégant cartonnage et classées en trois Parties: *Phototypes, Photocopies et Photocalques, Notes et renseignements divers*, divisées chacune en plusieurs Sections;

Par MM. II. FOURTIER, BOURGEOIS et BUCQUET.

Première Série; 1892..... 4 fr.

Deuxième Série; 1894..... 3 fr. 50 c.

CHIMIE PHOTOGRAPHIQUE A L'USAGE DES DÉBUTANTS.

Par M. R.-Ed. LIESEGANG.

Traduit de l'allemand et annoté par le Professeur J. MAUPEIRAL.

In-18 jésus, avec figures; 1898..... 3 fr. 50 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

**LE DÉVELOPPEMENT DES PAPIERS PHOTOGRAPHIQUES
A NOIRCISSEMENT DIRECT.**

Par M. R.-Ed. LIESEGANG. — Traduit de l'allemand
par M. V. HASSREIDTER.

In-18 jésus; 1893..... 1 fr. 75 c.

**LA PHOTOGRAPHIE INSTANTANÉE,
THÉORIE ET PRATIQUE,**

Par M. Albert LONDE.

Directeur du Service photographique à l'Hospice de la Salpêtrière,
3^e édition, entièrement refondue. In-18 jésus, avec figures; 1897. 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE DU DÉVELOPPEMENT.

ÉTUDE RAISONNÉE DES DIVERS RÉVÉLATEURS ET DE LEUR MODE
D'EMPLOI.

Par M. Albert LONDE.

3^e édition. In-18 jésus, avec figures; 1898..... 2 fr. 75 c.

**LE PROCÉDÉ A LA GOMME BICHROMATÉE
OU PHOTO-AQUATEINTE.**

Par MM. Alfred MASKELL et Robert DEMACHY.
Traduit de l'anglais par M. G. DEVANLAY.

In-18 jésus, avec figures; 1898..... 1 fr. 75 c.

VIRAGES ET FIXAGES.

Traité historique, théorique et pratique;

Par M. P. MERCIER,

Chimiste, Lauréat de l'École supérieure de Pharmacie de Paris.

2 volumes in-18 jésus; 1892..... 5 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : Notice historique. Virages aux sels d'or..... 2 fr. 75 c.

II^e PARTIE : Virages aux divers métaux. Fixages..... 2 fr. 75 c.

OPTIQUE PHOTOGRAPHIQUE

SANS DÉVELOPPEMENTS MATHÉMATIQUES,

Par le D^r A. MIETHE.

Traduit de l'allemand par A. NOAILLON et V. HASSREIDTER.

Grand in-8, avec 72 figures et 2 Tableaux; 1896..... 3 fr. 50 c.

L'OPTIQUE PHOTOGRAPHIQUE.

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.

(COURS PROFESSÉ A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE).

Par M. P. MOËSSARD.

Grand in-8, avec nombreuses figures; 1898..... 4 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

DE LA PROPRIÉTÉ ARTISTIQUE EN PHOTOGRAPHIE

SPÉCIALEMENT EN MATIÈRE DE PORTRAITS,

Par Édouard SAUVEL, Avocat au Conseil d'État et à la Cour de Cassation.

Un volume in-18 jésus; 1897..... 2 fr. 75 c.

**TRAITÉ PRATIQUE
DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES.**

Par M. E. TRUTAT.

2 volumes in-18 jésus, avec 112 figures..... 5 fr.

On vend séparément :

1^{re} PARTIE : Obtention des petits clichés; avec 52 figures; 1891..... 2 fr. 75 c.

II^e PARTIE : Agrandissements. 2^e édition, avec 60 figures; 1897..... 2 fr. 75 c.

LES ÉPREUVES POSITIVES SUR PAPIERS ÉMULSIONNÉS.

Papiers chlorurés. Papiers bromurés. Fabrication. Tirage et développement. Virages. Formules diverses.

Par M. E. TRUTAT.

Un volume in-18 jésus; 1896..... 2 fr.

LA PHOTOTYPOGRAVURE A DEMI-TEINTES.

Manuel pratique des procédés de demi-teintes, sur zinc et sur cuivre;

Par M. Julius VERFASER.

Traduit de l'anglais par M. E. COUSIN, Secrétaire-agent de la Société française de Photographie.

In-18 jésus, avec 56 figures et 3 planches; 1895..... 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

Sélection photographique des couleurs primaires. Son application à l'exécution de clichés et de tirages propres à la production d'images polychromes à trois couleurs;

Par M. Léon VIDAL,

Officier de l'Instruction publique, Professeur à l'École nationale des Arts décoratifs.

In-18 jésus, avec 10 figures et 5 planches en couleurs; 1897..... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE DE PHOTOLITHOGRAPHIE.

Photolithographie directe et par voie de transfert. Photozincographie. Photocollographie. Autographie. Photographie sur bois et sur métal à graver. Tours de main et formules diverses;

Par M. Léon VIDAL.

In-18 jésus, avec 25 fig., 2 planches et spécimens de papiers autographiques; 1893..... 6 fr. 50 c.

NOUVEAU GUIDE PRATIQUE DU PHOTOGRAPHE AMATEUR.

Par M. G. VIEILLE.

3^e édition, refondue et beaucoup augmentée. In-18 jésus, avec figures; 1892..... 2 fr. 75 c.

6186 B. — Paris, Imp. Gauthier Villars et fils, 55, quai des Gr.-Augustins.

MASSON & C^{ie}, Éditeurs

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, Boulevard Saint-Germain, Paris

P. n° 86.

EXTRAIT DU CATALOGUE

(Décembre 1897)

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICALE

D^r CRITZMAN, directeur

Suite de

Monographies cliniques

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES

en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

La science médicale réalise journallement des progrès incessants; les questions et découvertes vieillissent pour ainsi dire au moment même de leur éclosion. Les traités de médecine et de chirurgie, quelque rapides que soient leurs différentes éditions, auront toujours grand-peine à se tenir au courant.

C'est pour obvier à ce grave inconvénient, auquel les journaux, malgré la diversité de leurs matières, ne sauraient remédier, que nous fondons, avec le concours des savants et des praticiens les plus autorisés, un recueil de Monographies dont le titre général, *l'Œuvre médico-chirurgicale*, nous paraît bien indiquer le but et la portée.

Nous publierons, aussi souvent qu'il sera nécessaire, des fascicules de 30 à 40 pages dont chacun résumera et mettra au point une question médicale à l'ordre du jour, et cela de telle sorte qu'aucune ne puisse être omise au moment opportun.

Nous tenant essentiellement sur le terrain pratique, nous essayerons de donner à chaque problème une formule complète. La valeur et l'importance des questions seront examinées d'une manière critique, de façon à constituer un chapitre entier, digne de figurer dans le meilleur traité médico-chirurgical. Cette nouvelle publication pourrait être intitulée aussi : *Complément à tous les Traités de Pathologie, de Clinique et de Thérapeutique.*

CONDITIONS DE LA PUBLICATION

Chaque monographie est vendue séparément. 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix à forfait et payable d'avance de 10 francs pour la France et 12 francs pour l'étranger (port compris).

MONOGRAPHIES PUBLIÉES

- N° 1. **L'Appendicite**, par le D^r FÉLIX LEGUEU, chirurgien des hôpitaux de Paris.
- N° 2. **Le Traitement du mal de Pott**, par le D^r A. CHIPAULT, de Paris.
- N° 3. **Le Lavage du Sang**, par le D^r LEJARS, professeur agrégé, chirurgien des hôpitaux, membre de la Société de chirurgie.
- N° 4. **L'Hérédité normale et pathologique**, par le D^r CH. DEBIERRE, professeur d'anatomie à l'Université de Lille.
- N° 5. **L'Alcoolisme**, par le D^r JAQUET, privat-docent à l'Université de Bâle.
- N° 6. **Physiologie et pathologie des sécrétions gastriques**, par le D^r A. VERHAEGEN, assistant à la Clinique médicale de Louvain.

Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

Simon DUPLAY

Professeur de clinique chirurgicale
à la Faculté de médecine de Paris
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu
Membre de l'Académie de médecine

Paul RECLUS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine
Secrétaire général
de la Société de Chirurgie
Chirurgien des hôpitaux
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

BERGER, BROCA, DELBET, DELENS, DEMOULIN, J.-L. FAURE, FORGUE
GÉRARD-MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER, KIRMISSON
LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT
PONCET, QUÉNU, RICARD, RIEFFEL, SEGOND, TUFFIER, WALTHER

DEUXIÈME ÉDITION

ENTIÈREMENT REFOUDUE

8 vol. grand in-8 avec nombreuses figures dans le texte
En souscription. . . 150 fr.

TOME I (MIS EN VENTE EN FÉVRIER 1897)

1 vol. grand in-8° de 912 pages, avec 218 figures dans le texte. 18 fr.

RECLUS. — Inflammations, traumatismes, maladies virulentes.
BROCA. — Peau et tissu cellulaire sous-cutané.

QUÉNU. — Des tumeurs.
LEJARS. — Lymphatiques, muscles, synoviales tendineuses et bourses séreuses.

TOME II (MIS EN VENTE EN FÉVRIER 1897)

1 vol. grand in-8° de 996 pages, avec 361 figures dans le texte. 18 fr.

LEJARS. — Nerfs.
MICHAUX. — Artères.
QUÉNU. — Maladies des veines.

RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.
PONCET. — Affections non traumatiques des os.

TOME III (MIS EN VENTE EN JUILLET 1897)

1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures dans le texte. 18 fr.

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.
QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.

LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.
GÉRARD-MARCHANT. — Crâne.
KIRMISSON. — Rachis.
S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.

TOME IV (MIS EN VENTE EN OCTOBRE 1897)

1 vol. grand in-8° de 895 pages avec 354 figures dans le texte. 18 fr.

DELENS. — L'œil et ses annexes.
GÉRARD-MARCHANT. — Nez, fosses

nasales, pharynx nasal et sinus.
HEYDENREICH. — Mâchoires.

Les tomes V et VI paraîtront en janvier 1898 et les suivants à intervalles très rapprochés.

Traité d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

Paul POIRIER

PROFESSEUR AGRÉGÉ A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS
CHEF DES TRAVAUX ANATOMIQUES, CHIRURGIEN DES HOPITAUX

PAR MM.

A. CHARPY

PROFESSEUR D'ANATOMIE
A LA FACULTÉ DE
TOULOUSE

A. NICOLAS

PROFESSEUR D'ANATOMIE
A LA FACULTÉ DE
NANCY

A. PRENANT

PROFESSEUR D'HISTOLOGIE
A LA FACULTÉ DE
NANCY

P. POIRIER

PROFESSEUR AGRÉGÉ
CHEF DES TRAVAUX ANATOMIQUES
CHIRURGIEN DES HOPITAUX

P. JACQUES

PROFESSEUR AGRÉGÉ
A LA FACULTÉ DE NANCY
CHEF DES TRAVAUX ANATOMIQUES

ÉTAT DE LA PUBLICATION AU 1^{ER} DÉCEMBRE 1897

TOME PREMIER

Embryologie; Ostéologie; Arthrologie. Un volume grand in-8°
avec 621 figures 20 fr.

TOME DEUXIÈME

1^{er} Fascicule : Myologie. Un volume grand in-8° avec 312 figures. 12 fr.
2^e Fascicule : Angéiologie (*Cœur et Artères*). Un volume grand
in-8° avec 145 figures. 8 fr.
3^e Fascicule : Angéiologie (*Capillaires, Veines*). Un volume grand
in-8° avec 75 figures 6 fr.

TOME TROISIÈME

1^{er} et 2^e Fascicules : Système nerveux. Deux volumes grand
in-8° avec 407 figures 22 fr.

TOME QUATRIÈME

1^{er} Fascicule : Tube digestif. Un volume grand in-8°, avec
158 figures. 12 fr.
2^e Fascicule : Appareil respiratoire; *Larynx, trachée, poumons,*
plèvres, thyroïde, thymus. Un volume grand in-8°, avec
121 figures. 6 fr.

IL RESTE A PUBLIER :

Un fascicule du tome II (*Lymphatiques*);
Un fascicule du tome III (*Nerfs périphériques. Organes des sens*);
Un fascicule du tome IV (*Organes génito-urinaires*).

Ces fascicules seront publiés successivement dans le plus bref délai possible.

VIENT DE PARAÎTRE

Technique

Chirurgicale

PAR

E. DOYEN

AVEC LA COLLABORATION DU D^r G. ROUSSEL ET DE M. A. MILLOT

Technique chirurgicale générale. — Opérations gynécologiques

OUVRAGE ACCOMPAGNÉ DE 36 PLANCHES HORS TEXTE ET DE 422 FIGURES
DANS LE TEXTE

1 volume grand in-8° de 600 pages. . . 25 francs.

Ce livre est l'exposé de la méthode opératoire générale et des procédés personnels du D^r Doyen.

L'ouvrage est divisé en deux parties.

La première partie comprend la *Technique chirurgicale générale* avec la description des installations du D^r Doyen, et particulièrement de son nouveau lit d'opération et des divers appareils qui constituent le matériel antiseptique, les soins à donner aux malades avant et après l'opération, l'historique de l'hémostase et du morcellement.

La seconde partie comprend l'ensemble des *opérations gynécologiques*. Nous attirons particulièrement l'attention sur les chapitres qui se rapportent au traitement du vaginisme, des fistules vaginales, du redressement vaginal de l'utérus, qui sont absolument inédits, et à l'hystérectomie vaginale et abdominale, chapitres illustrés de nouvelles figures; le D^r Doyen y a développé, avec les plus grands détails, ses procédés, qui sont en faveur depuis plusieurs années déjà dans le monde entier.

Le second volume, qui est en préparation, comprendra par régions toutes les autres opérations chirurgicales.

VIENT DE PARAÎTRE

Chirurgie du Poumon

Par le D^r TUFFIER

PROFESSEUR AGRÉGÉ, CHIRURGIEN DE L'HOPITAL DE LA PITÉ

volume in-8° 6 francs.

Le livre que vient d'écrire M. Tuffier se trouve en ce moment le seul ouvrage complet sur une question d'actualité chirurgicale de la plus grande importance. Il n'existe aucun traité de ce genre ni en France, ni à l'étranger. Condensé en 180 pages, il se divise en deux parties : l'une qui a trait à la technique opératoire dans la chirurgie pulmonaire (thoracotomie, traversée pleurale, pneumotomie, résection du poumon); l'autre qui traite de la conduite à tenir dans chacune des maladies du poumon. La première partie est indispensable à tous ceux qui veulent être au courant de ces opérations ou les pratiquer. La seconde s'adresse en même temps au médecin en traitant des indications opératoires et des résultats thérapeutiques (plaies de poitrine, tumeurs, abcès, kystes, dilatations bronchiques, tuberculose, gangrène) obtenus jusqu'à notre jour par l'ensemble de toutes les opérations pratiquées dans tous les pays et dont de nombreux tableaux donnent les observations et leurs indications bibliographiques.

VIENT DE PARAÎTRE

Le Sacrum

DESCRIPTION — DÉVELOPPEMENT — ANOMALIES — ARTICULATIONS

Par le D^r Max POSTH

ANCIEN INTERNE DES HOPITAUX DE PARIS

1 volume in-8° avec 177 figures. 4 francs.

Ce travail se compose de deux parties : la première, la plus longue, est composée avec la substance des leçons et des publications déjà connues, mais non rassemblées, du professeur Farabeuf. Elle se compose de 4 chapitres : 1° ossification de la vertèbre, développement du sacrum; 2° description brève de l'extérieur de l'os; 3° ses anomalies; 4° son articulation avec l'os iliaque. — La seconde partie, la plus originale, est formée des pièces que M. Farabeuf et l'auteur ont su rassembler : c'est l'étude de la situation, de la forme et des dimensions des points d'ossification primitifs du sacrum depuis le quatrième mois intra-utérin jusqu'au trentième mois de la vie extra-utérine. Elle contient un atlas de 21 planches comprenant chacune une coupe verticale du sacrum et du coccyx, et autant de coupes transversales qu'il a été trouvé de vertèbres sacrées.

IENT DE PARAITRE

Traité de Microbiologie

Par E. DUCLAUX

Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur,
Professeur à la Sorbonne et à l'Institut agronomique.**TOME I. — MICROBIOLOGIE GÉNÉRALE**

1 volume grand in-8° de iv-632 pages avec figures dans le texte. 15 fr.

TABLE DES CHAPITRES. — Action des fermentations. — Développement physiologique et pathologique de la théorie de Pasteur. — Morphologie et structure des microbes. — Génération spontanée. — Méthodes de culture. — Méthodes de coloration. — Composition des bactéries. — Nutrition minérale des microbes. — Alimentation hydrocarbonée. — Vie aérobie et anaérobie. — Alimentation des microbes. — Variations physiologiques dans une même fermentation. — Réaction sur le microbe des produits de la vie cellulaire. — Changements morphologiques sous l'influence du milieu. — Action de la chaleur, changements pathologiques et physiologiques sous son action. — Action de l'électricité. — Influence de la lumière sur les hyphomycètes. — Action de la lumière sur les bactéries colorées et non colorées. — Durée de conservation des microbes. — Etude microbienne du sol. — Distribution des microbes dans le sol. — Microbes dans l'air. — Etude microbienne des eaux. — Microbes dans les eaux. — Multiplication des bacilles dans l'eau. — Action de l'eau sur les microbes, sur les bactéries pathogènes. — Etude de l'épuration des eaux d'égout par des substances chimiques, par les fleuves, par le sol. — Purification des eaux potables. — Filtration des eaux fluviales. — Purification spontanée et solaire des eaux courantes.

Le *Traité de Microbiologie* formera 7 volumes qui paraîtront successivement. Il paraîtra un volume par an.

Traité du Paludisme

Par A. LAVERAN

Membre de l'Académie de médecine, membre correspondant de l'Institut.

1 volume grand in-8° avec 27 figures et une planche en couleurs. 10 fr.

Depuis près de vingt ans, M. le Dr Laveran s'occupe d'une manière toute spéciale du paludisme, et il a consacré déjà un grand nombre de travaux à l'étude de cette maladie. Ces travaux en ont suscité d'autres, en particulier sur l'hématozoaire du paludisme qui, découvert par M. Laveran en Algérie, a été retrouvé dans tous les pays où règne l'endémie palustre. Le moment était venu de résumer et de coordonner ces nombreux travaux, c'est ce que M. le Dr Laveran a fait dans le *Traité du Paludisme* qu'il vient de publier. La clinique, la thérapeutique et la prophylaxie ont une large place dans cet ouvrage à côté de l'étude des causes de la maladie. Des dessins et une planche en couleur permettent de suivre facilement la description de l'hématozoaire du paludisme et des parasites analogues qui sont étudiés dans le dernier chapitre de l'ouvrage.

VIENT DE PARAÎTRE

Clinique médicale *de l'Hôtel-Dieu de Paris*

Par G. DIEULAFOY

Professeur de clinique médicale à la Faculté de médecine de Paris
Membre de l'Académie de médecine, médecin de l'Hôtel-Dieu.

1 vol. gr. in-8° avec figures dans le texte et une planche hors texte. 10 fr.

Leçons contenues dans ce livre : Leçon d'ouverture. — Œdème brightique suraigu du poumon. — Œdème brightique du larynx. — Les lésions syphilitiques de l'aorte (3 leçons). — Angine de poitrine tabétique. — Un cas de chorée mortelle. — Un cas d'épilepsie jacksonienne. — Un cas de maladie de Basedow (2 leçons). — Perforation de l'ulcère simple du duodénum. — Transformation de l'ulcère stomacal en cancer. — Lithiase intestinale et entérocolite sableuse. — Appendicite, Péritonites appendiculaires (3 leçons). — Péritonite à pneumocoques.

VIENT DE PARAÎTRE

Éléments de Physiologie Humaine

Par Augustus WALLER, M. D., F. R. S.

Professeur de Physiologie au Saint-Mary's Hospital à Londres.

Traduit de l'anglais sur la troisième édition

Par le Dr HERZEN

Professeur de Physiologie à l'Université de Lausanne.

1 volume in-8° de xvi-755 pages avec 311 figures dans le texte. 14 fr.

Ce livre est plus personnel, moins systématique et moins dogmatique que les similaires ; il s'adresse plus au raisonnement qu'à la mémoire ; une préoccupation constante de l'auteur est celle de n'insister que sur les points vraiment importants, sur ceux dont l'étude contribue le plus à l'intelligence du fonctionnement de la machine vivante. De plus, M. Waller n'oublie jamais qu'il s'adresse non à de futurs physiologistes, mais à de futurs médecins pour lesquels la physiologie est assurément une des bases les plus indispensables de la pathologie, mais pour lesquels elle n'est pourtant qu'une science auxiliaire, un moyen et non un but ; aussi s'efforce-t-il toujours d'indiquer, en quelques mots pour le moins, les perturbations auxquelles sont sujets les phénomènes physiologiques et de faire ressortir ainsi le lien étroit qui les unit aux phénomènes pathologiques, ceux-ci n'étant au fond qu'une déviation de ceux-là.

Traité de Pathologie générale

PUBLIÉ PAR

Ch. BOUCHARD

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR DE PATHOLOGIE GÉNÉRALE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

6 volumes grand in-8° avec figures dans le texte

EN SOUSCRIPTION (Décembre 1897) 102 fr.

DIVISIONS DU TOME I^{er}

1 vol. grand in-8° de 1018 pages avec figures dans le texte. 18 fr.

- H. ROGER. — Introduction à l'étude de la pathologie générale.
H. ROGER et P.-J. CADIOT. Pathol. comparée de l'homme et des animaux.
P. VUILLEMIN. Considérations générales sur les maladies des végétaux.
MATHIAS DUVAL. — Pathogénie générale de l'embryon. Tératogénie.
LE GENDRE. — L'hérédité et la pathologie générale.
BOURCY. — Predisposition et immunité.
MARFAN. — La fatigue et le surmenage.
LEJARS. — Les Agents mécaniques.
LE NOIR. — Les Agents physiques. Chaleur. Froid. Lumière. Pression atmosphérique. Son.
D'ARSONVAL. — Les Agents physiques. L'énergie électrique et la matière vivante.
LE NOIR. — Les Agents chimiques : les caustiques.
H. ROGER. — Les intoxications.

DIVISIONS DU TOME II

1 vol. grand in-8° de 932 pages avec figures dans le texte. . . 18 fr.

- CHARRIN. — L'infection.
GUIGNARD. — Notions générales de morphologie bactériologique.
HUGOUNENQ. — Notions de chimie bactériologique.
CHANTEMESSE. — Le sol, l'eau et l'air agents de transmission des maladies infectieuses.
GABRIEL ROUX. — Les microbes pathogènes.
LAVERAN. — Des maladies épidémiques.
RUFFER. — Sur les parasites des tumeurs épithéliales malignes.
R. BLANCHARD. — Les parasites.

DIVISIONS DU TOME IV

1 vol. grand in-8° de 720 pages avec figures dans le texte. . . . 16 fr.

- DUCAMP. — Évolution des Maladies.
GILBERT. — Sémiologie du sang.
HÉNOQUE. — Spectroscopie du sang. Sémiologie.
TRIPPIER et DEVIC. — Sémiologie du cœur et des vaisseaux.
LERMOYER et BOULAY. — Sémiologie du nez, du pharynx et du larynx.
LEBRETON. — Sémiologie des voies respiratoires.
LEGENDRE. — Sémiologie générale du tube digestif.

Avis. — La rédaction du tome III de la Pathologie générale ayant dû subir un retard, les éditeurs ont mis en vente le tome IV aujourd'hui complet. Le tome III sera publié dans un délai prochain. Les tomes V et VI, qui compléteront l'ouvrage, sont tous deux en cours de publication.

Traité des Maladies de l'Enfance

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

J. GRANCHER

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Académie de médecine, médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

J. COMBY

Médecin
de l'hôpital des Enfants-Malades.

A.-B. MARFAN

Agrégé,
Médecin des hôpitaux.

Le Traité des Maladies de l'Enfance est publié en cinq volumes qui paraissent à des intervalles rapprochés. Chaque volume est vendu séparément, et le prix en est fixé selon l'étendue des matières.

Les tomes I, II, III et IV sont en vente (Décembre 1897). Les autres paraîtront prochainement à intervalles rapprochés.

Il est accepté des souscriptions au Traité des Maladies de l'Enfance à un prix à forfait quels que soient l'étendue et le prix de l'ouvrage complet. Ce prix est, jusqu'à la publication du tome V, fixé à 90 francs.

TOME I (PARU EN DÉCEMBRE 1896)

1 vol. in-8° de xvi-816 pages avec figures dans le texte . . . 18 fr.

Physiologie et hygiène de l'enfance. — Considérations thérapeutiques sur les maladies de l'enfance. — Maladies infectieuses.

TOME II (PARU EN MARS 1897)

1 vol. in-8° de 818 pages avec figures dans le texte. . . 18 fr.

Maladies générales de la nutrition. — Maladies du tube digestif.

TOME III (PARU EN JUILLET 1897)

1 vol. de 950 pages avec figures dans le texte. . . . 20 fr.

Abdomen et annexes. — Appareil circulatoire. — Nez, larynx et annexes.

TOME IV (PARU EN DÉCEMBRE 1897)

1 vol. de 880 pages avec figures dans le texte. . . . 18 fr.

Maladies des bronches, du poumon, des plèvres, du médiastin. — Maladies du système nerveux.

TOME V (SOUS PRESSE)

Appareil locomoteur. — Organes des sens. — Maladies de la peau. — Maladies du fœtus. — Table.

VIENT DE PARAÎTRE

La Mélancolie

PAR

J. ROUBINOVITCH

Chef de Clinique à la Faculté de Paris
Lauréat de l'Académie
et de la Faculté de médecine

Édouard TOULOUSE

Médecin de l'asile de Villejuif
Lauréat de l'Institut
et de l'Académie de médecine.

OUVRAGE COURONNÉ PAR L'ACADÉMIE DE MÉDECINE (Prix Lefèvre 1896).

Avec figures et tracés dans le texte

Un volume in-18, de VIII-42 pages. . . . 4 francs.

Cet ouvrage est le dernier livre qu'on ait écrit sur la *Mélancolie*. Il n'est pas nouveau que par la date, mais aussi par les idées générales et les tendances expérimentales qui y sont manifestées. On y trouvera de nombreux tracés, graphiques et photographies; c'est là d'ailleurs un des côtés originaux de cette monographie, qui marque un réel progrès sur toutes ses devancières par l'application à l'étude des maladies mentales de la méthode expérimentale. Enfin les praticiens y liront avec plaisir un très substantiel chapitre de thérapeutique, sur tous les moyens de traitement employés contre ces états mentaux qui vont de la simple neurasthénie à la mélancolie délirante et à la stupeur, en passant par l'hypocondrie. L'eau, l'air, la lumière, tous les agents physiques, les sérum, les médicaments hypnotiques et sédatifs, le traitement par le lit sont étudiés; la technique de l'alimentation artificielle y est exposée avec beaucoup de détails. Mais les paragraphes les plus importants sont ceux consacrés au traitement moral, si délicat, et à l'internement. A cette occasion, les auteurs se livrent à des appréciations, parfois sévères, sur l'organisation des asiles d'aliénés, et vantent les bienfaits de l'assistance familiale.

VIENT DE PARAÎTRE

Leçons sur les Bactéries pathogènes

FAITES A L'HOTEL-DIEU ANNEXE

PAR

P. DUFLOCC

Un volume in-8°. 10 fr.

En publiant ces leçons faites aux élèves de son service et à quelques auditeurs étrangers, le Dr Duflocq a désiré être utile aux étudiants et aux médecins qui n'ont ni le temps, ni les moyens de recueillir et de coordonner les documents épars dans la littérature française et étrangère. Chacune de ces études se termine par un chapitre consacré aux applications à l'homme; c'est là une de ces tentatives d'alliance entre la Clinique et la Bactériologie que l'on doit aujourd'hui, pour le plus grand bien des malades, chercher à idéaliser.

Nomenclature des Bactéries étudiées. — *Les Staphylocoques pyogènes* (2 leçons). — *Le Streptocoque* (4 leçons). — *Le pneumocoque* (5 leçons). — *Tétrades et Sarcines* (1 leçon). — *Le Gonocoque* (2 leçons). — *Le Bactérium coli-commune* (4 leçons). — *Le Bacille typhique* (10 leçons). — *Le Vibriion cholérique* (9 leçons). — *Le Bacille diphtérique* (9 leçons). — *Le Bacille tétanique* (8 leçons).

VIENT DE PARAÎTRE

L'ART DE GREFFER

Par **Charles BALTET**

HORTICULTEUR A TROYES

SIXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUEARBRES ET ARBUSTES FORESTIERS
ARBRES FORESTIERS OU D'ORNEMENT
RECONSTITUTION DU VIGNOBLE1 volume in-16 avec 202 figures dans le texte 4 fr.

Cette sixième édition devra rencontrer, comme ses aînés, un accueil bienveillant et sympathique; l'auteur a voulu la rendre digne du public horticole et agricole qui a fait le succès de ce livre et n'a rien négligé pour la mettre au courant des acquisitions les plus récentes de l'art de greffer. Tous les procédés de greffage sont à peu près connus, cependant d'intéressantes modifications ont été apportées par des grands établissements horticoles et adoptés dans certaines régions vinières. Elles sont indiquées à leurs chapitres respectifs.

Traité de Zoologie

PAR

Edmond PERRIER

Membre de l'Institut, Professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

VIENT DE PARAÎTRE.**FASCICULE IV**

VERS ET MOLLUSQUES

1 vol. gr. in-8 de 792 pages, avec 566 figures. 16 fr.

ONT DÉJÀ PARU :

FASCICULE I : **Zoologie générale.** 412 pages, 458 figures. . . **12 fr.**FASCICULE II : **Protozoaires et Phytozoaires.** 452 p., 243 fig. **10 fr.**FASCICULE III : **Arthropodes.** 480 pages, 278 figures. **8 fr.**Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol.
in-8° de 1344 pages, avec 980 figures **30 fr.**

Traité **des Matières colorantes**

ORGANIQUES ET ARTIFICIELLES

de leur préparation industrielle et de leurs applications

Par **Léon LEFÈVRE**

Ingenieur (E. I. R.), Préparateur de chimie à l'École Polytechnique.

Préface de **E. GRIMAUX**, membre de l'Institut.

2 volumes grand in-8° comprenant ensemble 1650 pages, reliés toile anglaise, avec 31 gravures dans le texte et 261 échantillons.

Prix des deux volumes : 90 francs.

Le *Traité des matières colorantes* s'adresse à la fois au monde scientifique par l'étude des travaux réalisés dans cette branche si compliquée de la chimie, et au public industriel par l'exposé des méthodes rationnelles d'emploi des colorants nouveaux. L'auteur a réuni dans des tableaux qui permettent de trouver facilement une couleur quelconque, toutes les couleurs indiquées dans les mémoires et dans les brevets. La partie technique contient, avec l'indication des brevets, les procédés employés pour la fabrication des couleurs, la description et la figure des appareils, ainsi que la description des procédés rationnels d'application des couleurs les plus récentes. Cette partie importante de l'ouvrage est illustrée par un grand nombre d'échantillons teints ou imprimés, *fabriqués spécialement pour l'ouvrage*.

IENT DE PARAÎTRE

Chimie **des Matières colorantes**

PAR

A. SEYEWETZ

Chef des travaux
à l'École de chimie industrielle de Lyon

P. SISLEY

Chimiste - Coloriste

1 volume grand in-8° de 822 pages. 30 fr.

Les auteurs, dans cette importante publication, se sont proposé de réunir sous la forme la plus rationnelle et la plus condensée tous les éléments pouvant contribuer à l'enseignement de la chimie des matières colorantes, qui a pris aujourd'hui une extension si considérable. Cet ouvrage est, par le plan sur lequel il est conçu, d'une utilité incontestable non seulement aux chimistes se destinant soit à la fabrication des matières colorantes, soit à la teinture, mais à tous ceux qui sont désireux de se tenir au courant de ces remarquables industries.

Cours de Chimie

MINÉRALE, ORGANIQUE

Par Armand GAUTIER

Membre de l'Institut
Professeur de Chimie à la Faculté de
Médecine de Paris
Membre de l'Académie de Médecine

DEUXIÈME ÉDITION

Revue et mise au courant des travaux les plus récents

Tome I. — CHIMIE MINÉRALE. 1 vol. grand in-8° avec 244 figures. 16 fr.
Tome II. — CHIMIE ORGANIQUE. 1 vol. grand in-8° avec 72 figures... 16 fr.

LEÇONS DE CHIMIE BIOLOGIQUE, NORMALE ET PATHOLOGIQUE

Par A. GAUTIER

Ces leçons complètent le *Cours de Chimie* du professeur GAUTIER. Elles sont publiées avec la collaboration de MAURICE ARTHUS, professeur à l'Université de Fribourg.

1 volume grand in-8° de 826 pages avec 110 figures. . 18 fr.

VIENT DE PARAÎTRE

Traité d'Analyse chimique qualitative

DES MANIPULATIONS, DES OPÉRATIONS CHIMIQUES, DES RÉACTIFS ET DE LEUR ACTION SUR LES CORPS LES PLUS RÉPANDUS; ESSAIS AU CHALUMBEAU; ANALYSE DES EAUX POTABLES, DES EAUX MINÉRALES, DES TERRES, DES ENGRAIS, ETC.; RECHERCHES CHIMICO-LÉGALES, ANALYSE SPECTRALE

Par R. FRÉSENIUS

Professeur de Chimie à l'Université de Wiesbaden

NEUVIÈME ÉDITION FRANÇAISE

RÉDIGÉE D'APRÈS LA SEIZIÈME ÉDITION ALLEMANDE

PAR LE D^r L. GAUTIER

1 volume in-8° avec figures dans le texte et un tableau colorié
d'Analyse spectrale : 7 fr.

DU MÊME AUTEUR :

Traité d'Analyse chimique quantitative. Traité du dosage et de la séparation des corps simples et composés les plus usités en pharmacie, dans les arts et en agriculture, analyse par les liqueurs titrées, analyse des eaux minérales, des cendres végétales, des sols, des engrais, des minerais métalliques, de l'ontes, dosage de sucres, alcalimétrie, chlorométrie, etc. *Sixième édition française*, traduite sur la sixième édition allemande, par le D^r L. GAUTIER. 1 vol. in-8° de 1343 pages avec 251 gravures dans le texte. 16 fr.

PASTEUR

Histoire d'un Esprit

Par **E. DUCLAUX**

Membre de l'Institut de France, Professeur à la Sorbonne,
Directeur de l'Institut Pasteur.

1 volume in-8 de 400 pages avec 22 figures 5 fr.

EXTRAIT DE LA PRÉFACE DE L'AUTEUR

... C'est moins pour faire un panégyrique que pour en tirer un enseignement que j'ai essayé d'écrire son histoire, dans laquelle je laisse de côté tout ce qui est relatif à l'homme pour ne parler que du savant. J'ai voulu, dans l'ensemble comme dans le détail, faire la genèse de ses découvertes, estimant qu'il n'avait rien à perdre de cette analyse, et que nous avons beaucoup à gagner.

Loi des Équivalents

et Théorie nouvelle de la Chimie

Par **Gustave MARQFOY**

1 volume in-8 de xxxii-712 pages.. . . . 7 fr. 50

En considérant les divers éléments du monde physique, l'auteur a été naturellement amené à étudier la matière. Comme synthèse de cette étude, il a acquis la conviction que la matière est une. En faisant, dès lors, sur la loi de la formation des corps, la seule hypothèse qui lui ait paru simple et rationnelle, il a découvert la loi naturelle qui enchaîne les équivalents de la chimie dans une formule arithmétique. Après avoir exposé la loi suivant laquelle tous les corps ont été formés, M. Marqfoy établit la théorie constitutive des corps, basée sur l'hypothèse que la matière est une. La concordance des formules et des lois trouvées par cette théorie avec les expériences de la physique et de la chimie confirment la vérité de l'hypothèse.

VIENT DE PARAÎTRELeçonssur l'Électricité et le Magnétisme

De E. MASCART et J. JOUBERT

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE

Par E. MASCART

Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France
Directeur du bureau central de Météorologie

2 volumes grand in-8° avec figures dans le texte 45 fr.

ON VEND SÉPARÉMENT :

TOME I. — PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX ET THÉORIES

1 volume grand in-8° avec 130 figures 25 fr.

TOME II. — MÉTHODES DE MESURE ET APPLICATIONS

1 volume grand in-8° avec 160 figures 25 fr.

L'accueil fait par le public à cet ouvrage, épuisé depuis plusieurs années, nous engageait à en donner une seconde édition, mais il a paru nécessaire d'en remanier presque entièrement la rédaction pour tenir compte des progrès accomplis dans le domaine de l'électricité. Les modifications introduites dans le texte primitif et les développements nouveaux qu'exige l'état actuel de la science, n'ont pas modifié le plan général de cet ouvrage.

Le premier volume continue à constituer une sorte de corps de doctrine, renfermant l'ensemble des faits et des conceptions qui ont servi à les coordonner. Le second volume est plus spécialement consacré à l'étude des méthodes d'observations, au détail des expériences et à l'examen des principaux caractères que présentent les applications si nombreuses de l'électricité dans l'industrie,

VIENT DE PARAÎTRE

Formulaire de l'Electricien

PAR

E. HOSPITALIER

Ingénieur des Arts et Manufactures

Professeur à l'Ecole de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris

QUINZIÈME ANNÉE — 1897

augmentée d'un

VOCABULAIRE TECHNIQUE

FRANÇAIS, ANGLAIS, ALLEMAND

Par M. LEVYLIER

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges . . . 5 fr.

Le succès toujours croissant de cet excellent recueil plaide mieux que tous les arguments en faveur de cet ouvrage, que l'on doit rencontrer dans les mains de quiconque s'occupe d'électricité. L'auteur a su rassembler, sous la forme la plus réduite, tous les renseignements théoriques et pratiques. Définitions, lois, unités de mesures, appareils et méthodes, sont ainsi constamment sous la main de l'électricien, qui dispose également de tous les résultats aujourd'hui acquis par les nombreuses expériences que la science et l'industrie nous apportent tous les jours.

L'édition actuelle a été tenue au courant de la science avec un soin scrupuleux; elle a été augmentée d'un *Vocabulaire technique*, où les électriciens trouveront facilement la traduction en anglais et en allemand des mots se rapportant à toutes les branches de l'électricité.

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 11825.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Collection de 250 volumes petit in-8 (30 à 40 volumes publiés par an)

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ 2 FR. 50; CARTONNÉ, 3 FR.

Ouvrages parus

Section de l'Ingénieur

- PICOU. — Distribution de l'électricité. (2 vol.).
- A. GOULLY. — Air comprimé ou raréfié. — Géométrie descriptive (3 vol.).
- DWELSHAUVERS-DERY. — Machine à vapeur. — I. Etude expérimentale calorimétrique. — II. Etude expérimentale dynamique.
- A. MADAMET. — Tiroirs et distributeurs de vapeur. — Détente variable de la vapeur. — Epures de régulation.
- M. DE LA SOURCE. — Analyse des vins.
- ALHEILIG. — I. Travail des bois. — II. Corderie. — III. Construction et résistance des machines à vapeur.
- AINÉ WITZ. — I. Thermodynamique. — II. Les moteurs thermiques.
- LINDET. — La bière.
- TH. SCHLÆSING fils. — Chimie agricole.
- SACVAGE. — Moteurs à vapeur.
- LE CHATELIER. — Le grisou.
- DUDEBOU. — Appareils d'essai des moteurs à vapeur.
- CRONEAU. — I. Canon, torpilles et cuirasse. — II. Construction du navire.
- H. GAUTIER. — Essais d'or et d'argent.
- LECONTE. — Les textiles végétaux.
- DE LAUNAY. — I. Les gites métallifères. — II. Production métallifère.
- FERTIN. — Etat de la marine de guerre.
- FERDINAND JEAN. — L'industrie des peaux et des cuirs.
- BERTHELOT. — Calorimétrie chimique.
- DE VIARIS. — L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.
- SUILLAUME. — Unités et étalons.
- WIDMANN. — Principes de la machine à vapeur.
- MINEL (P.). — Électricité industrielle. (2 vol.). — Électricité appliquée à la marine. — Régularisation des moteurs des machines électriques.
- HÉBERT. — Boissons falsifiées.
- NAUDIN. — Fabrication des vernis.
- SINGAGLIA. — Accidents de chaudières.
- GUENEZ. — Décoration de la porcelaine au feu de moufle.
- VERMAND. — Moteurs à gaz et à pétrole.
- MEYER (Ernest). — L'utilité publique et la propriété privée.
- WALLON. — Objectifs photographiques.

Section du Biologiste

- FAISANS. — Maladies des organes respiratoires.
- MAGNAN et SÉRIEUX. — I. Le délire chronique. — II. La paralysie générale.
- AUVARD. — I. Séméiologie génitale. — II. Menstruation et fécondation.
- G. WEISS. — Electro-physiologie.
- BAZY. — Maladies des voies urinaires. (2 vol.).
- TROUSSEAU. — Hygiène de l'œil.
- FÈRE. — Epilepsie.
- LAVERAN. — Paludisme.
- POLIN et LABIT. — Aliments suspects.
- BERGONIE. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine.
- MIGNIN. — I. Les acariens parasites. — II. La faune des cadavres.
- DEMELIN. — Anatomie obstétricale.
- CUENOT. — I. Les moyens de défense dans la série animale. — II. L'influence du milieu sur les animaux.
- A. OLIVIER. — L'accouchement normal.
- BERGÉ. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.
- CHARBIN. — I. Les poisons de l'urine. — II. Poisons du tube digestif. — III. Poisons des tissus.
- ROGER. — Physiologie normale et pathologique du foie.
- BROCC et JACQUET. — Précis élémentaire de dermatologie (5 vol.).
- HANOT. — De l'endocardite aiguë.
- WEILL-MANTOU. — Guide du médecin d'assurances sur la vie.
- LANGLOIS. — Le lait.
- DE BRUN. — Maladies des pays chauds. (2 vol.).
- BROCA. — Tumeurs blanches des membres chez l'enfant.
- DE CAZAL et CATRIN. — Médecine légale militaire.
- LAFERSONNE (DE). — Maladies des paupiers et des membranes externes de l'œil.
- KÖHLER. — Applications de la photographie aux Sciences naturelles.
- BEAUREGARD. — Le microscope.
- LESAGE. — Le choléra.
- LANNELONGUE. — La tuberculose chirurgicale.
- CORNEVIN. — Production du lait.
- J. CHATIN. — Anatomie comparée (4 v.).

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

Ouvrages parus

Section de l'Ingénieur

- BLOCH. — Eau sous pression.
 DE MARCHENA. — Machines frigorifiques (2 vol.).
 PRUD'HOMME. — Teinture et impression.
 SOREL. — I. La rectification de l'alcool. — II. La distillation.
 DE BILLY. — Fabrication de la fonte.
 HENNEBERT (C). — I. La fortification. — II. Les torpilles sèches. — III. Bouches à feu. — IV. Attaque des places. — V. Travaux de campagne. — VI. Communications militaires.
 CASPARI. — Chronomètres de marine.
 LOUIS JACQUET. — La fabrication des eaux-de-vie.
 DUBOUT et CRONKAU. — Appareils accessoires des chaudières à vapeur.
 C. BOURLET. — Bicycles et bicyclettes.
 H. LÉAUTÉ et A. BÉRARD. — Transmissions par câbles métalliques.
 DE LA BAUME PLOVINEL. — La théorie des procédés photographiques.
 HATT. — Les marées.
 H. LAURENT. — I. Théorie des jeux de hasard. — II. Assurances sur la vie.
 C^t VALLIER. — Balistique (2 vol.). — Projectiles. Fusées. Cuirasses (2 vol.).
 LÉLOUTRE. — Le fonctionnement des machines à vapeur.
 DARIÉS. — Cubature des terrasses et mouvement des terres.
 SIDERSKY. — Polarisation et saccharimétrie.
 NIRWENGLOWSKI. — Applications scientifiques de la photographie.
 ROQUES (X.). — Analyse des alcools et eaux-de-vie.
 MOISSARD. — Topographie.
 BOURSALT. — Calcul du temps de pose en photographie.
 SÉGUÉLA. — Les tramways.
 LEFEVRE (J.). — I. La Spectroscopie. — II. La Spectrométrie. — III. L'éclairage électrique. — IV. Éclairage aux gaz, aux huiles, aux acides gras.
 BARILLOT (E.). — Distillation des bois.
 MOISSAN et OUVRARD. — Le nickel.
 URBAIN. — Les succédanés du chiffon en papeterie.
 LOPPÉ. — I. Accumulateurs électriques. — II. Transformateurs de tension.
 ARIÉS. — Chaleur et énergie.
 FABRY. — Piles électriques.
 HENRIET. — Les gaz de l'atmosphère.
 DUMONT. — Electromoteurs.
 MOUT (A.). — L'Electro-metallurgie.
 DUFOUR. — Etude d'un tracé de chemin de fer

Section du Biologiste

- CASTEX. — Hygiène de la voix parlée et chantée.
 MERKLEN. — Maladies du cœur.
 G. ROCHÉ. — Les grandes pêches maritimes modernes de la France.
 OLLIER. — I. La régénération des os et les résections sous-périostées. — II. Résections des grandes articulations.
 LETULIE. — Pus et suppuration.
 CRITZMAN. — Le cancer.
 ARMAND GAUTIER. — La chimie de la cellule vivante.
 SÉGLAS. — Le délire des négations.
 STANISLAS MEUNIER. — Les météorites.
 GRÉHANT. — Les gaz du sang.
 NOCARD. — Les tuberculoses animales et la tuberculose humaine.
 MOUSSOU. — Maladies congénitales du cœur.
 BERTHAULT. — Les prairies (2 vol.).
 TROUSSART. — Parasites des habitations humaines.
 LAMY. — Syphilis des centres nerveux.
 RECLUS. — La cocaïne en chirurgie.
 THOULET. — Océanographie pratique.
 HOUDAILLE. — Météorologie agricole.
 VICTOR MEUNIER. — Sélection et perfectionnement animal.
 HÉNOQUE. — Spectroscopie du sang.
 GALIPPE ET BARRÉ. — Le pain (2 v.).
 LE DANTEC. — I. La matière vivante. — II. La Bactériologie charbonneuse. — III. La Forme spécifique.
 L'HÔTE. — Analyse des engrais.
 LARBALETRIÈRES. — Les tourteaux. — Résidus industriels employés comme engrais (2 vol.).
 LE DANTEC ET BÉRARD. — Les sporezoaires.
 DEMMLER. — Soins à donner aux malades.
 DALLEMAGNE. — Études sur la criminalité (3 vol.).
 BRAULT. — Des artérites (2 vol.).
 RAVAZ. — Reconstitution du vignoble.
 EHRLERS. — L'Ergotisme.
 BONNIER. — L'oreille (3 vol.).
 DESMOULINS. — Conservation des produits et denrées agricoles.
 LOVERDO. — Le ver à soie.
 DUBREUILH et BELLE. — Les parasites animaux de la peau humaine.
 KAYSER. — Les levures.
 COLLET. — Troubles auditifs des maladies nerveuses.
 GASSER. — Analyse des eaux potables