

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

Section de l'Ingénieur

MM.	MM.	MM.
Alain-Abadie.	Garnier.	Margerie.
Alheilg	Gassaud.	Meyer (Ernest).
Ariès (Comm ^t).	Gastine.	Michel-Lévy.
Armengaud jeune.	Gautier (Henri).	Minel (P.).
Arnaud.	Godard.	Minet (Ad.).
Barillot.	Gouilly.	Miron.
Bassot (C ^l).	Grimaux.	Moëssard (C ^l).
Baume-Pluvinel(dela).	Grouvelle (Jules).	Moissan.
Bérard (A.).	Guenez.	Moissenet.
Bergeron (J.).	Guye (C. Eug.).	Monnier.
Berthelot.	Guye (Ph.-A.).	Moreau (Aug.).
Bertin.	Guillaume (Ch.-Ed.).	Müller.
Bertrand (L.)	Guyou (Comm ^t).	Niewenglowski (G. H.).
Biglia.	Hatt.	Naudin (Laurent).
Billy (Ed. de).	Hébert.	Ocagne (d').
Bloch (Fr.).	Hennebert (C ^l).	Ouvrard.
Blondel.	Henriet.	Perrin.
Boire (Em.).	Hérisson.	Perrotin.
Bordet.	Hospitalier (E.).	Picou (R.-V.).
Bornecque.	Hubert (H.).	Poulet (J.).
Boucheron (H.).	Hutin.	Prud'homme.
Bourlet.	Jacométy.	Rateau.
Boursault (H.)	Jacquet (Louis).	Resal (J.).
Boussac (A.)	Jaubert.	Ricaud.
Candlot.	Jean (Ferdinand).	Rocques (X).
Caspari.	Launay (de).	Rocques-Desvallées.
Charpy (G.).	Laurent (H.).	Rouché.
Clugnet.	Laurent (P.).	Sarrau.
Croneau.	Laurent (Th.).	Sauvage.
Damour.	Lavergne (Gérard).	Schlœsing fils (Th.).
Dariès.	Léauté (H.).	Schützenberger.
Defforges.	Le Chatelier (H.).	Seguela.
Delafond.	Lecornu.	Seyrig (T.).
Drzewiecki.	Lecomte.	Sidersky.
Dudebout.	Lefèvre (J.).	Sinagaglia.
Dufour.	Leloutre.	Sorel (E.).
Dumont.	Lenicque.	Trillat.
Duquesnay.	Le Verrier.	Urbain.
Durin.	Lindet (L.).	Vallier (Comm ^t).
Dwelshauvers-Dery.	Lippmann (G.).	Vermand.
Fabre (Ch.).	Loppé.	Viariis (de).
Fabry.	Lumière (A.).	Vignerou.
Fourment	Lumière (L.).	Vivet (L.).
Fribourg (C ^l).	Madamet (A.).	Wallon (E.).
Frouin	Magnier de la Source.	Widmann.
Gages (Cap.)	Marchena (de).	Witz (Aimé).

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLÉE

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

*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.*

N° 200 B

110
101

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

LES
FOURS ÉLECTRIQUES
ET
LEURS APPLICATIONS

PAR

AD. MINET

Ingénieur-Chimiste

Directeur du Journal « L'Électrochimie »



—•••—

PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

Quai des Grands-Augustins, 55

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS,

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE


Boulevard Saint-Germain, 120

Tous droits réservés)

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES TRAVAUX
PARIS, 1900
M. LÉVELY, Directeur de l'Encyclopédie

LES
POURS ÉLECTRIQUES

**OUVRAGES DE L'AUTEUR PARUS
DANS LA COLLECTION DE L'ENCYCLOPÉDIE**

- I. Électro-métallurgie. Voie humide et voie sèche.
Phénomènes électro-thermiques.**
- II. Les fours électriques et leurs applications.**
- 
- PARIS
- MAISON DE LA SCIENCE
10, rue de la Harpe, PARIS

INTRODUCTION

On donne le nom de *phénomènes électro-thermiques* aux réactions dans lesquelles l'électricité joue principalement le rôle d'agent calorifique, et les appareils appliqués à ces sortes de phénomènes prennent le nom générique de *fours électriques*.

Le four électrique présente les dispositions les plus diverses, suivant le problème à résoudre, et les quantités de chaleur, qu'on y dégage, sont comprises entre des limites très étendues.

L'étude des phénomènes électro-thermiques peut se diviser en plusieurs parties qui seront différenciées, tant par la nature des réactions observées, que par la température atteinte pour les provoquer et la somme d'énergie mise en jeu.

Pour envisager cette question d'une façon aussi complète que possible, il convient de passer en revue tous les appareils où l'électricité donne

lieu à un dégagement de chaleur, depuis ceux, comme les conducteurs, les rhéostats, etc., où la température atteinte n'excède que de quelques degrés celle de l'atmosphère, jusqu'aux fours intensifs, dans lesquels la température de réaction est voisine de $4\ 000^{\circ}$.

D'où, pour cet ouvrage, la division suivante :

1^{re} PARTIE. — *Travaux calorifiques du courant électrique :*

1^o Chaleur dégagée par un courant traversant une résistance métallique ; température maxima des conducteurs ;

2^o Chauffage électrique.

2^{me} PARTIE. — *L'arc voltaïque et les charbons électriques.*

3^{me} PARTIE. — *Les fours électriques et leurs applications.*

4^{me} PARTIE. — *Le carbure de calcium et l'acétylène.*

Parmi ces phénomènes, quelques-uns ont été décrits dans l'ouvrage sur l'*Électro-métallurgie* nous les rappellerons ici en reproduisant les appareils qui s'y rattachent de façon à ne pas nuire à l'unité et à la clarté du sujet traité.

PREMIÈRE PARTIE

TRAVAUX CALORIFIQUES DU COURANT ÉLECTRIQUE

CHAPITRE PREMIER

CHALEUR DÉGAGÉE PAR UN COURANT TRAVERSANT UNE RÉSISTANCE MÉTALLIQUE TEMPÉRATURE DES CONDUCTEURS EN FONCTION DE LA DENSITÉ DU COURANT

Lorsqu'un conducteur est traversé par un courant électrique, il se produit un dégagement de chaleur qui, suivant la loi de Joule, peut se calculer en fonction de la résistance R du conducteur et de l'intensité I du courant

$$(1) \quad q = \frac{RI^2\theta}{g \times j} = \frac{RI^2\theta}{9.81 \times 428,4} \text{ grandes-calories}$$

θ , est le temps exprimé en secondes.

On peut donner à l'expression (1) une autre forme en remplaçant R ou I par leur valeur tirée de la loi d'Ohm ($E = RI$); E étant la différence de potentiel aux extrémités du conducteur

Pour

$$(2) \quad R = \frac{E}{I} \quad q = \frac{EI\theta}{g \times j}$$

$$(3) \quad I = \frac{E}{R} \quad q = \frac{E^2\theta}{R(g \times j)}$$

Pour les valeurs de E, R, θ égales à l'unité $q = \frac{1}{g \times j} = 0,00024$ grandes-calories ou 0,238 petites calories ou calories-gramme.

Le dégagement de chaleur, dû au passage du courant dans un conducteur, est exprimé quelquefois en kilogrammètres ou en chevaux-vapeur; voici quelques équivalences des différents travaux calorifiques et mécaniques, suivant les unités adoptées :

1 grande calorie	vaut	428,4	kilogrammètres
1 "	" "	0,119	kilogram.-heure
1 "	" "	5,712	chevaux-seconde
1 petite calorie	vaut	0,4284	kilogrammètres
1 kilogrammètre	" "	2,33	petites calories
1 kilogram-heure	" "	8,40	grandes calories
1 cheval-seconde	" "	144,8	petites calories
1 cheval-heure	" "	631	grandes calories
1 "	" "	270 000	kilogrammètres

Les valeurs de I et de E des expressions (1),

La résistance R d'un conducteur d'une longueur l , d'un diamètre d ou d'une section s , d'une résistance r et r_1 correspondant à l'unité de diamètre ou de section, sera :

$$R = \frac{rl}{d^2} = \frac{r_1 l}{s}$$

Il faudra aussi tenir compte de la température, avec laquelle la résistance varie.

Les résistances du tableau ayant été déterminées à 0° , on aura pour la résistance R_t à la température t

$$R_t = R(1 + \alpha t)$$

α étant le coefficient de variation de résistance avec la température.

Calcul du diamètre des conducteurs. —

Cette question peut s'envisager à deux points de vue différents : l'économie de l'installation et la température maxima que devra atteindre le conducteur.

Le premier de ces problèmes est très complexe et sa solution dépend d'une foule de conditions dont les principales se rapportent à la longueur des conducteurs, à la nature et à la puissance de la force motrice dont on dispose.

Lorsqu'on emploie, par exemple, la machine à

vapeur comme source d'énergie, dans une station électrique d'où doivent partir des fils de distribution du courant, et que la quantité d'électricité à distribuer absorbe une somme d'énergie voisine de la puissance mécanique disponible, on est forcé de dépenser beaucoup de cuivre, afin de marcher avec une faible densité de courant (intensité par millimètre carré de section) et, par suite, perdre dans les conducteurs le minimum d'énergie possible.

Il est rare que, dans ce cas, on ait à se préoccuper de la température du conducteur, formant la ligne générale de distribution, les densités de courant adoptées étant inférieures aux densités de la température critique.

On ne s'y intéressera que pour les lignes partielles de distribution, et particulièrement pour les fils isolés, ou renfermés dans des moulures.

Si, au contraire, on dispose d'une force indéfinie, pour ainsi dire, et à bon marché comme celle d'une station hydraulique, on cherchera avant tout à économiser le cuivre et on marchera avec des densités de courants voisines de la densité correspondant à la température critique.

Quelles sont les températures que peuvent supporter les conducteurs ? Elles varient avec la nature et les dispositions mêmes de ces conducteurs.

C'est ainsi qu'un fil de fer s'oxydera plus rapidement qu'un fil de cuivre, à températures égales.

On admét pour les fils de cuivre nus, suspendus dans l'air, une température maxima de 100° centigrades; pour les fils isolés ou sous moulure une température de 40° ; pour les fils des machines électriques la température atteindra 70° , avec les faibles tensions, et ne devra pas dépasser 50° avec les hautes tensions.

Lorsqu'un conducteur doit présenter une résistance invariable, malgré les changements de densité du courant qui le traverse, changements qui ont pour effet d'augmenter sa température, il convient d'employer des fils de maillechort dont la résistance varie peu avec la température.

Le cas d'un conducteur à résistance constante se présente fréquemment dans les rhéostats de machines électriques ou d'instruments de mesure.

Plusieurs formules ont été proposées pour calculer l'échauffement d'un conducteur parcouru par un courant électrique, ou, en d'autres termes, pour connaître l'intensité I qui, avec un diamètre d , provoque une élévation de température déterminée.

Suivant les uns, il faudrait prendre $\frac{I}{d} = \text{const.}$;
suivant les autres, $\frac{I}{d^2}$, ou enfin $\frac{I^2}{d^3} = \text{const.}$

Cette dernière formule, proposée par M. Frobés, est celle qui se rapprocherait le plus de la réalité des faits ; elle n'est cependant pas rigoureuse, étant basée sur la loi de Newton relative à la vitesse du refroidissement, loi qui n'est exacte qu'entre des limites de température très peu étendues.

Fils de cuivre sous moulure. — M. A. E. Kennelly a vérifié la formule de Frobés pour le cas particulier d'un fil de cuivre enfermé dans une moulure en bois.

Il admettait que la température initiale du cuivre était de 24° et que l'élévation de la température déterminée par le passage du courant n'excédait pas 16° ; la température finale était donc de 40° .

M. Kennelly a proposé les formules suivantes pour la détermination des intensités et des diamètres limites du cuivre.

$$\frac{I^2}{d^3} = 19,4$$

d'où

$$I = 4,4 \sqrt[3]{d^3} \quad d = 0,37 \sqrt[3]{I^2}$$

d étant exprimé en millimètres carrés, I en ampères.

Le tableau suivant donne le diamètre en millimètres que doit avoir un fil de cuivre enfermé sous moulure, pour une intensité de courant donnée et une élévation de température de 16 centigrades.

FILS ENFERMÉS DANS UNE MOULURE EN BOIS
ÉLÉVATION DE TEMPÉRATURE 16°

Ampères	Diamètre minimum	Ampères	Diamètre minimum
	en millimètres		en millimètres
1	0,38	140	10,10
5	1,09	150	10,50
10	1,75	200	12,80
15	2,29	225	13,80
20	2,77	250	14,90
25	3,20	275	15,80
30	3,61	300	16,80
35	4,01	350	18,60
40	4,37	400	20,30
50	5,08	450	22,00
60	5,72	500	23,60
70	6,35	550	25,10
80	6,96	600	26,60
90	7,52	700	29,50
100	8,08	800	32,30
120	9,09	900	34,80
130	9,58	1 000	37,30

Si l'on examine les chiffres extrêmes, on remarque que, pour une même élévation de température, il passe dans le fil du plus faible diamètre ($d = 0^{\text{mm}},38$ ou $s = 0^{\text{mm}^2},11$) un courant de densité égale à 9 ampères par millimètre carré; tandis que pour le fil de plus grand diamètre ($d = 37^{\text{mm}},30$ ou $s = 1\,100^{\text{mm}^2}$) la densité est descendue à $0^{\text{amp}},9$.

La conductibilité moyenne des fils qui avaient servi aux expériences était d'environ 99 $\%$, et le coefficient de température était pris égal à $1 + 0,00388t$, t étant l'augmentation en degrés centigrades.

Fil non isolé. — M. Kennelly a dressé aussi un tableau (reproduit p. 16) des intensités de courants minima capables d'élever la température de fils aériens en cuivre nu, brillants ou noircis, à 98 $\%$ de conductibilité, de 10° , 20° et 40° centigrades dans l'air calme.

Avec les fils fins, la densité de courant est de 8 à 10 ampères par millimètre carré pour une élévation de température de 20° centigrades; elle descend à 3 ampères avec les fils de grands diamètres.

Des expériences analogues ont été effectuées par M. Barbieri, à la station d'essai de Munich, sur des fils nus dont le diamètre variait entre

0^{mm},5 et 2 millimètres, pour des élévations de température s'élevant à 200°.

FILS NON ISOLÉS, SUSPENDUS DANS L'ATMOSPHÈRE.
EXPÉRIENCES DE M. KENNELLY

Diamètre en millimètres	10° C.		20° C.		40° C.	
	brill.	noirei	brill.	noirei	brill.	noirei
	ampères	ampères	ampères	ampères	ampères	ampères
2	29	31	40	44	55	59
4	71	75	100	105	139	145
6	125	132	175	184	244	256
8	192	200	268	280	370	388
10	264	276	367	380	506	533
12	343	360	478	501	560	600
14	432	453	602	632	816	877
16	525	553	728	765	1000	1060
18	625	660	870	910	1190	1260
20	728	765	1010	1060	1400	1470
22	839	880	1160	1220	''	''
24	950	995	1300	1370	''	''

On déduit du tableau de la p. 17 que, pour une même élévation de température, il faut lancer dans un fil nu, suspendu dans l'air, une intensité de courant deux fois plus grande que dans un fil de même diamètre, enfermé dans une moulure.

EXPÉRIENCES DE M. BARBIERI

Diamètre du fil en millimètres d	Intensité du courant I	Élévation de température	$\frac{12}{d^3}$
0,52	3,2	10	0,0151
"	4,5	20	0,0154
"	6,2	40	0,0167
"	8,4	80	0,0176
"	9,8	120	0,0194
"	10,9	160	0,0210
"	11,9	200	0,0220
1	7,7	10	0,0206
"	10,7	20	0,0215
"	14,5	40	0,0228
"	18,6	80	0,0270
"	21,3	120	0,0360
"	23,5	160	0,0360
"	25,7	200	0,0375
1,52	13,5	10	0,0234
"	18,8	20	0,0273
"	24,7	40	0,0275
"	32	80	0,0325
"	36,4	120	0,0371
"	39,5	160	0,0405
"	42	200	0,0420
2,04	14,5	5	0,024
"	19	10	0,027
"	25,2	20	0,031
"	33,7	40	0,036
"	39	60	0,039
"	43	80	0,043
"	47	100	0,046
"	51	120	0,047

Il ressort de ce tableau que, pour des élévations de température relativement assez considérables, le facteur $\frac{I^2}{d^3}$ est loin d'être une constante; ce résultat du reste avait été prévu.

On remarque aussi que les densités de courant indiquées par M. Barbieri sont plus faibles, pour un diamètre de fil et une élévation de température donnés, que les chiffres de M. Kennelly; toutefois, avec les fils très fins ($d = 0^{\text{mm}},5$), la densité de courant atteint, dans ces dernières expériences 16 ampères, pour une élévation de température de 10° centigrades et 60 ampères pour une élévation de 20° .

Les tableaux précédents permettent de déterminer approximativement la densité du courant qui devra traverser un fil d'un métal autre que le cuivre pour obtenir une élévation de température donnée; il suffira d'affecter le chiffre indiqué pour le cuivre d'un coefficient variant avec la résistance spécifique du métal employé; en d'autres termes, la densité de courant qui devra traverser des fils de même diamètre, mais de nature et par suite de résistance spécifique différentes, variera en *raison inverse* de la racine carrée de cette dernière quantité.

CHAPITRE II

CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE

La transformation de l'énergie électrique en chaleur a donné naissance à un grand nombre d'appareils de chauffage d'une grande ingéniosité qui peuvent s'appliquer aux recherches de laboratoire et aux besoins domestiques.

Une des premières applications du chauffage électrique a été faite par M. Carpentier, suivi rapidement dans cette voie par MM. Kennedy, Dewey, Dreys, Schindler, Guillot, Ullmann, etc.

On doit également à M. Charpy et à M. Colin de très intéressantes études sur ce sujet.

Appareils Carpentier. — M. Carpentier a indiqué, en 1890, une application à un four de cuisine.

Le courant est employé à chauffer un fil métallique en forme de filigrammes, de dessins va-

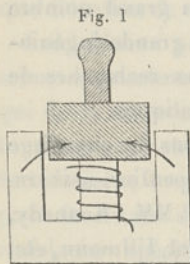
riés, pris entre un carton d'amiante épais et une feuille de mica qui transmet la chaleur à la plaque métallique du fourneau.

Sous le carton d'amiante se trouve une couche épaisse d'un isolant qui empêche la chaleur de se dissiper autrement que par la plaque.

Celle-ci est en plusieurs pièces, de façon à pouvoir se maintenir facilement à des températures différentes.

Appareils Duret de Kennedy (1890). — Les appareils proposés par M. de Kennedy se distinguent du précédent en ce que la chaleur est produite presque en entier dans

l'objet à chauffer, et par les moyens les plus simples, pourvu que l'on dispose d'un courant alternatif.



Nous citerons par exemple un fer à repasser (*fig. 1*), placé sur l'un des pôles d'un électro-aimant lamellaire,

excité par un courant alternatif, et enveloppé par l'autre pôle, de manière que les lignes du champ le traversent entièrement.

On peut appliquer ce principe sous les formes les plus diverses ; c'est ainsi que M. de Kennedy a imaginé une bouillotte chauffée électriquement,

où l'eau circule dans un tube en **U** en cuivre, emmanché dans le corps de l'aimant et constituant le secondaire d'un transformateur.

Chaufferette électrique de M. Dewey (1891). — Le chauffage est produit par l'incandescence d'un fil de platine développé en forme de serpent dans une garniture d'amiante, suffisamment conductrice de la chaleur pour empêcher la fusion du fil, et enfermée dans une caisse de fonte dont le fond est garni de plâtre, pour que toute la chaleur rayonne par le haut.

Appareils Edwards L. Nichols (1894). — Ce physicien a signalé quelques applications de chauffage électrique dans la pratique du laboratoire.

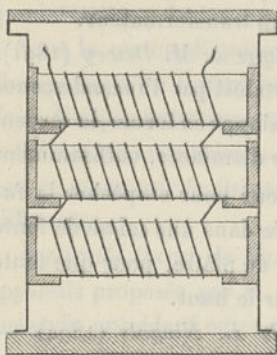
La méthode consiste à chauffer le corps, ou l'appareil d'étude, à l'aide d'une bobine à fil non recouvert. Le fil, qui peut être en maillechort, est traversé par des courants intenses qui le portent à une température élevée ; la température de l'intérieur de la bobine peut être facilement amenée à une valeur déterminée, et maintenue constante pendant tout le temps de l'expérience.

Cette méthode s'applique bien à la détermination des coefficients de dilatation des métaux.

Poêles Inée (1893). — Ces appareils sont formés

d'une enveloppe percée de trous, pour l'admission de l'air, et dans

Fig. 2

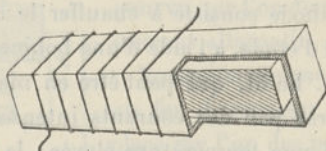


laquelle on a superposé un certain nombre d'anneaux réfractaires (fig. 2), pourvus chacun de radiateurs (fig. 3).

Chaque radiateur est constitué par une barre métallique pour en assurer la stabilité, en-

tourée d'une gaine d'amiante sur laquelle est

Fig. 3



enroulé un fil de platine traversé par le courant électrique.

Appareils Schindler (1891). — M. Schindler-Jenny a imaginé plusieurs appareils applicables aux besoins domestiques ; fers à repasser, fourneaux électriques qui ressemblent à ceux qu'avait proposés M. Carpentier,

Poêle Dreys (1891). — Cet appareil est basé sur un principe différent des précédents ; il est constitué par deux cylindres en poteries concentriques, dans l'espace annulaire desquels est disposée une série de pièces métalliques, entre lesquelles le courant se transmet par un jaillissement d'étincelles de pointe à pointe.

L'air pénètre dans l'espace annulaire et en sort surchauffé.

Cet appareil a l'inconvénient de nécessiter des courants de haute tension ; et il y a lieu de craindre que les pièces métalliques ne se détruisent rapidement par la chaleur et l'oxydation, et qu'il ne se produise de nombreuses interruptions de courant.

Appareils de M. Guillot et de M. J. Ullmann. (1892). — Ces physiciens ont imaginé des chauffoirs de diverses natures : chauffe-pieds, bouillotte, théières, poêle à frire, fer à repasser, chauffe-fer à friser, etc., etc.

A l'aide d'un de ses fourneaux électriques, qui fonctionnaient à l'exposition d'électricité du Palais de Cristal, tenue à Londres en 1892, M. Guillot a pu préparer tous les mets d'un banquet auquel on avait destiné 150 côtelettes et 30 poulets.

M. Ullmann aménage ses chauffoirs de façon

qu'ils puissent être mis en service à la place de lampes à incandescence.

Appareils de M. Mitchell (1893). — La partie électrique de ces chauffoirs consiste en un fond pourvu de projections tronconiques creuses entourées de bobines de résistance concentriques, qui s'emboîtent entre des garnitures d'amiante ; le tout est maintenu par une garniture en tôle.

M. Mitchell a monté, avec cette disposition, une marmite, un bain-marie, un chauffe-chapeau.

Il a imaginé aussi un chauffe-creuset, basé sur un principe différent de ses autres appareils.

Le creuset en plombagine est divisé longitudinalement en deux parties, séparées par une bande réfractaire isolante ; chacune de ces parties est reliée au pôle d'un circuit par l'intermédiaire des mâchoires d'une pince à bras ; le courant traverse le creuset et le corps qu'il renferme, portant le tout à une haute température.

Chaufferette Dewey (1893). — Ces chaufferettes sont divisées en deux parties renfermant chacune une plaque de tôle, entourée d'un isolant, sur lequel on enroule une résistance ; le tout est contenu dans une enveloppe percée de trous de circulation d'air, plus grands à la partie supérieure.

Chauffoir Cook (1893). — Le fond de cet appareil est muni d'une spirale, sur laquelle on enroule le fil, d'abord à l'intérieur, puis à l'extérieur, de manière que les courants ne puissent pas l'aimanter ; il s'emboîte dans un couvercle facile à découvrir.

Fer à repasser Jenkins (1893). — La partie électrique est formée d'une sole creusée de rainures garnies chacune d'un crayon de graphite, enveloppé d'une gaine isolante.

Les crayons sont réunis deux par deux en quantité, par des blocs métalliques, et le courant électrique traverse tous les groupes ainsi formés disposés en tension.

Appareil Schindler (1892). — Ce chauffoir se compose d'une plaque isolante réfractaire, creusée de rainures en spirales dans lesquelles se trouvent logés des fils de platine recouverts d'une feuille de mica qui supporte un couvercle en tôle.

Chauffoir Crompton et Downing (1892). — La surface de chauffe est divisée en plusieurs conducteurs ondulés et émaillés, pourvus d'autant de commutateurs, de façon qu'on puisse les relier individuellement au circuit et faire varier à volonté l'intensité ou la distribution du chauffage.

Chauffage électrique des wagons. — Parmi

les procédés connus pour chauffer à l'aide d'un courant électrique les compartiments, on peut citer celui de M. Courcelles. L'inventeur emploie des chaufferettes ayant extérieurement la même forme que la bouillotte à eau chaude, contenant une série de petites lames de cuivre de $0^m,06$ et $0^m,07$ de longueur, et de $0^m,02$ de largeur.

Ces lames sont placées perpendiculairement à l'axe longitudinal de la chaufferette, à une distance de $0^m,03$ les unes des autres.

Deux fils de fer, de $0^m,001$ de diamètre environ, sont disposés parallèlement à l'axe longitudinal de la chaufferette et s'appuient sur les lames de cuivre.

Enfin d'autres lames en étain, ou mieux en plomb, sont placées au-dessus des lames de cuivre et rivées avec ces dernières de façon à serrer les fils de fer longitudinaux.

Si on fait passer dans ces fils un courant électrique, fourni par une machine dynamo-électrique à courants alternatifs, on les chauffe et la chaleur se transmet aux plaques.

Ces plaques peuvent ainsi être facilement portées à une température de 85° .

Recherches de M. Charpy (1896). — M. Charpy a créé un four électrique, où la tem-

pérature peut varier entre 200 et 1300°, qui lui a rendu de grands services dans ses expériences sur la trempe de l'acier.

Cet ingénieur a présenté lui-même, dans ces termes, son appareil, au Congrès d'Électrochimie à Paris, en août 1896 :

« Le résultat à atteindre était d'élever à une température uniforme, et pouvant être portée des points les plus bas aux plus élevés, un barreau métallique de 20 centimètres de longueur et de 2 centimètres de diamètre.

« L'appareil, employé dans ce but, se compose d'un tube réfractaire, de 60 centimètres de longueur, du modèle de ceux qu'on emploie en chimie.

« Sur sa surface extérieure sont enroulés deux fils de platine de 0^{mm},5 de diamètre, dont les spires sont distantes de 2 millimètres, et qui peuvent être reliés, en parallèles, à une source d'énergie électrique.

« Le tube de terre et ces fils sont entourés d'un manchon d'amiante et d'un cylindre métallique de 10 centimètres environ de diamètre, et l'espace compris entre ce dernier tube et le manchon est rempli d'une substance calorifuge.

« Le tube de terre est prolongé par des garnitures métalliques, entourées d'un serpentín où

circule de l'eau froide, de manière à éviter un échauffement exagéré des extrémités de l'appareil ; celles-ci reposent par deux tourillons sur deux traverses métalliques fixées au tube enveloppe, et une poulie, actionnée par un petit moteur électrique, permet de faire tourner le tube de terre autour de son axe.

« Les fils de platine aboutissent à deux bagues métalliques sur lesquelles frottent deux balais amenant le courant ; un rhéostat, intercalé dans le circuit de la source, permet de faire varier l'intensité du courant circulant dans les fils de platine, et par conséquent la température. Enfin le tube enveloppe, qui dans sa position ordinaire est horizontal, peut tourner autour d'un axe transversal horizontal, de manière à pouvoir être rapidement amené dans une position verticale, et permettre ainsi de faire tomber le barreau métallique dans un récipient froid, pour en opérer la trempe ».

Des mesures de température, faites avec un pyromètre de M. Le Châtelier, ont montré que, dans la partie moyenne du tube de terre, la température était uniforme, à 2 degrés près, sur la longueur de 20 centimètres occupés par le barreau, et pouvait être maintenue constante pendant plusieurs heures.

D'ailleurs, dans la plupart des cas, on peut se dispenser de pyromètre pour l'évaluation de température, et se servir de la variation de résistance qu'éprouve le fil de platine sous l'influence de la température.

Dans ce but, on met en dérivation, entre deux spires, un voltmètre, et l'on place sur le circuit d'un des fils de platine un ampèremètre ; le quotient des indications du premier instrument par les indications du second donne la résistance de la longueur du fil de platine, comprise entre les deux points d'attache du voltmètre ; la variation de cette résistance avec la température étant déterminée une fois pour toutes, on déduit de ces données la valeur de la température avec une approximation d'une vingtaine de degrés, approximation le plus souvent suffisante.

La rotation, imprimée au tube de terre, a pour but d'augmenter l'uniformité de la température du barreau métallique, car la partie inférieure du barreau en contact direct avec le tube se trouverait nécessairement portée à une température plus grande que celle des parties supérieures, si l'on n'avait pas soin de changer, d'une façon continue, les surfaces en contact.

La nécessité de cette précaution est mise en évidence par ce fait que les barreaux restent

parfaitements droits après la trempe, lorsque le tube est mis en rotation pendant leur chauffe, tandis qu'ils sont toujours déformés, lorsque le tube est maintenu dans la même position.

Pour maintenir cet appareil à une température de 850 à 900° C. il faut un courant de 70 volts et d'un peu moins de 8 ampères, soit 500 watts.

Pour maintenir la même température avec un four à gaz à trois brûleurs de 600 litres à l'heure, il faut environ dépenser 500 litres à l'heure.

Si donc le watt coûte le même prix que le litre de gaz, la dépense du chauffage avec l'appareil électrique est sensiblement la même qu'avec le four à gaz.

D'autre part, si l'on tient compte que pour produire un cheval électrique, soit 736 watts, avec une machine actionnée par un moteur à gaz, il faut environ 700 litres de gaz, on arrive à ces résultats que les 500 watts exigés par le chauffage électrique demanderaient une dépense de 470 litres seulement et que, par suite, il y aurait avantage, au point de vue économique, à convertir l'énergie potentielle du gaz d'éclairage en énergie électrique plutôt que de l'utiliser directement par combustion.

Mais sans insister sur cet avantage économique, qui n'est que secondaire dans le cas considéré, il y a lieu de faire ressortir les facilités de maniement que présente l'appareil décrit, dont l'enveloppe extérieure reste à une température encore inférieure à 150° , après une chauffe de 6 heures de la partie centrale à 1200° et 1300° .

Recherches de M. L. Colin (1897). — M. Colin a fait, au mois de février 1897, à la Société internationale des Électriciens, une conférence où il cite les nombreux perfectionnements qui ont été apportés à la fabrication des appareils de chauffage électrique par la Société du Familistère de Guise, dans ses usines de Guise, en France, et de Laeken-Lez-Bruxelles, en Belgique, et par la Société Crompton et C^{ie}, à Londres; et qui permettent de construire, non seulement des appareils de chauffage et de cuisine d'un fonctionnement parfait, mais des rhéostats industriels simples, peu encombrants et peu coûteux.

M. Colin établit d'abord le principe de la construction de ces appareils; après avoir rappelé l'expression qui donne la quantité de chaleur dégagée, selon la loi de Joule, en fonction des constantes du courant qui traverse une résis-

tance métallique, il fait ressortir que l'air, comme tous les gaz, étant mauvais conducteur de la chaleur, celle-ci ne peut se dégager suffisamment vite, malgré la grande facilité de circulation de l'air autour du fil, ce qui conduit à une élévation de température, quelquefois très grande, dans la résistance métallique.

En pratique, cette température n'excède guère 150 à 200° C. pour les résistances et rhéostats industriels ; et pour arriver à ce résultat on est obligé d'employer des fils de gros diamètre, et, par suite, très longs.

Quelquefois on enroule les fils en hélice, ce qui est encore plus mauvais au point de vue du dégagement de la chaleur, moins bien diffusée par convection de l'air qu'au moyen d'un fil droit tendu.

Mais si, au lieu d'enlever la chaleur par convection, on l'enlève par conduction, au fur et à mesure de sa production, on pourra diminuer le diamètre du fil et, par suite, sa longueur, sans craindre une trop grande élévation de température ; ou, ce qui revient au même, avec un fil de même diamètre et de même longueur que dans le premier cas, on pourra convertir en chaleur plus d'énergie électrique.

En somme, ce principe est aussi celui qui a

servi de guide à la construction de la majeure partie des chauffoirs électriques construits depuis 1890 ; nous allons voir comment les fabricants, dont M. L. Colin a étudié les appareils, en ont tiré partie.

Comme le fait remarquer M. Colin, pour résoudre ce problème, il suffit de mettre le fil résistant en contact avec une surface conductrice de la chaleur dont il sera isolé électriquement.

La matière intermédiaire, entre la résistance et la surface conductrice, devrait donc être en même temps bonne conductrice de la chaleur et mauvaise conductrice de l'électricité, conditions qu'on n'a pu encore réaliser.

On tourne la difficulté en réduisant l'épaisseur de l'isolant, et en le rendant aussi conducteur de la chaleur que possible.

On a essayé, comme isolant, l'amiante, le mica, la silice, la terre réfractaire, la porcelaine, etc.

Aucun d'eux ne répond aux nécessités ci-dessus. De plus, ils sont poreux et non homogènes, ce qui donne des contacts à la masse et des courts circuits qui mettent les appareils hors d'usage.

Les substances vitrifiées paraissent seules devoir remplir le but.

Le problème est donc ramené à la fixation d'une résistance sur une plaque métallique, au moyen d'une terre.

Ce problème qui paraît simple, au premier abord, offre de nombreuses difficultés, si l'on veut établir un appareil répondant aux conditions suivantes :

1° *La surface métallique, très conductrice, doit offrir beaucoup d'adhérence à l'isolant.*

2° *L'isolant doit présenter une grande élasticité, afin de résister sans se rompre aux dilatations et aux contractions nombreuses auxquelles il sera soumis.*

3° *Il doit être aussi peu fusible que possible, afin de ne pas fondre dans le cas d'une élévation brusque de température, lorsqu'un fil rougit, par exemple.*

4° *Conducteur, si possible, de la chaleur, il doit être assez bon isolant électrique pour être employé sous un fort voltage.*

5° *Le fil doit y être parfaitement noyé et très voisin de la plaque conductrice, tout en conservant un isolement pratique suffisant.*

6° *Aucune bulle d'air ne doit exister dans l'appareil qui, en se dilatant, ferait éclater l'isolant.*

7° *La dilatation du fil doit être atténuée et en rapport avec celle d'un isolant.*

Pour répondre à ces exigences, la Société Crompton et la Société du Familistère ont combiné des appareils de la manière suivante :

La fonte a été choisie, comme plaque conductrice, bien que son coefficient de conduction soit près du tiers de celui du cuivre, à raison de son coefficient de dilatation linéaire qui est de 0,00001, très voisin de celui de l'isolant trouvé égal à 0,000069 ; tandis que le coefficient de dilatation du cuivre est bien supérieur à ce dernier chiffre, étant de 0,0000178.

Le côté extérieur de la plaque est garni de nervures très minces, pour augmenter la surface radiante ; dans les appareils où le chauffage a lieu par contact, ces nervures sont supprimées.

La résistance électrique de l'isolant est celle du verre ; il peut donc supporter un haut voltage ; les appareils alimentés avec un courant alternatif à 230 volts fonctionnent très bien.

Son point de fusion est compris entre 800° et 900°.

Un appareil établi dans ces conditions résiste très bien aux mises en marches et aux arrêts répétés.

L'un d'eux a fonctionné pendant quatorze

mois, à raison de huit heures par jour, sans présenter ni fentes, ni craquelures d'aucunes sortes; le courant était envoyé et supprimé alternativement toutes les cinq minutes.

C'est dire que ces résistances sont tout indiquées pour la mise en route de moteurs à arrêts répétés, comme ceux de tramways par exemple.

Le fil de résistance employé est en général du maillechort, du platine, du fer ou du feronickel.

Pour les petits appareils, le fil présente une résistance spécifique de 78 microhms centimètres, ce qui donne 98 à 99 ohms de résistance par mètre de longueur pour un diamètre de $\frac{1}{10}$ de millimètre.

On sait que la résistance spécifique du cuivre est de 1,6 microhm, et que la résistance d'un mètre de fil de cuivre de $\frac{1}{10}$ de diamètre est égal à 2 ohms; la résistance des métaux employés est donc cinquante fois environ celle du cuivre.

On est parvenu à noyer, dans les isolants, des fils relativement gros ($\frac{7}{10}$ et $\frac{8}{10}$ de millimètre).

Avec les intensités de courant qu'on y lance, ces fils rougiraient rapidement, s'ils étaient simplement suspendus dans l'air; dans l'appareil,

ils n'atteindront que le rouge sombre, à la condition que la surface de rayonnement de la plaque soit assez grande.

Le maximum de température à l'intérieur de la plaque conductrice pourrait être de 450° ; en pratique, on ne dépasse guère 300 à 350° .

L'épaisseur de l'isolant étant faible, on peut admettre que si la température intérieure de la plaque est de 250° , celle du fil n'excédera pas 300° ; c'est le cas des appareils ordinaires.

Dans les grils et réchauds, la température de la plaque est de 350° , et celle du fil ne dépasse pas 450° .

M. Colin a donné quelques modèles de calculs pour déterminer les dimensions des plaques conductrices, pour la transformation en chaleur d'une énergie électrique donnée, à une température déterminée.

1^{er} EXEMPLE. — *Quelle surface faudra-t-il donner à la plaque conductrice, pour transformer en chaleur un hectowatt; la température intérieure étant de 250° et celle de la surface extérieure de 200° ?*

$$1 \text{ hectowatt-heure} = \frac{100 \times 3\,600}{981 \times 424} = 86^{\text{cal}},55.$$

D'après Dulong, la quantité de chaleur

rayonnée par mètre carré de surface métallique non polie, en contact avec l'air, est par heure de

$$R = ma^2(a^t - 1) + m't^{1,233}.$$

Dans cette formule :

R = chaleur émise en unités, c'est-à-dire rayonnée par le métal ;

$m = 124,72$ K (d'après Péclet) K étant un nombre constant qui est de 3,36 pour la fonte oxydée ;

a = coefficient constant = 1,0077 ;

t = excès de la température du corps sur celle de l'enceinte ;

α = température de l'enceinte ;

m' (d'après Péclet) pour les surfaces planes verticales de hauteur h est :

$$0,552 \left(1,764 + \frac{0,636}{\sqrt{h}} \right)$$

h , étant égal à un mètre, on a $m' = 1,3248$.

Si nous supposons la température de l'enceinte $\alpha = 15^\circ$, celle de la plaque étant 250° , on aura : $t = 250 - 25 = 235^\circ$ d'où

$$R = 3491^{\text{cal}},80$$

émises par mètre carré de plaque et par heure.

Pour le calcul de la quantité de chaleur R' qui s'écoule du côté du verre, car dans les appareils de chauffage les dispositions sont prises pour utiliser la chaleur dégagée des deux côtés de la plaque, on aura, en appliquant la formule précédente avec des valeurs de $K = 2,91$ pour le verre :

calories émises par mètre-carré-heure

$$R' = 3172,95.$$

Soit au total $R + R' = 6664^{\text{cal}},75$.

Donc, pour écouler $86^{\text{cal}},75$, condition du problème, il faudra une surface de :

$$\frac{1 \times 86,55}{6664,75} = 0^{\text{m}^2},01297.$$

Mais l'existence des nervures sur la surface extérieure doublant la quantité de chaleur émise, on peut multiplier le chiffre que donne le calcul par 1,5.

On voit qu'un décimètre carré de surface transmettra aisément un hectowatt d'une source de chaleur à la température de 250° .

On peut même transporter, dans ces conditions, 115 à 120 watts par décimètre carré de surface extérieure de plaque. C'est sur ces bases que sont construits les appareils comme les chauffe-plats, chauffe-pieds, chaufferettes, etc.

2° EXEMPLE. — *Quelle sera la surface extérieure d'émission, pour transformer en chaleur un hectowatt, la température intérieure étant de 350°, celle de la surface de 280°?*

En faisant un calcul semblable au précédent on trouve :

Calories émises par mètre-carré- heure de plaque	R = 8235
Calories émises par mètre-carré- heure de verre	R' = 7375.

Nous supposerons que l'émission de la chaleur du verre n'est que la moitié du nombre R', grâce à deux couches d'air séparées par une plaque métallique, et destinées à diminuer le dégagement de chaleur du côté du verre;

$$R + \frac{R'}{2} = 11\,922 \text{ calories,}$$

c'est-à-dire que, dans ces conditions, 1 mètre-carré-heure de surface émet 12 000 calories environ; et pour écouler 86^{cal},55 développées par un hectowatt-heure il faudra 0^{m²},0072; 1 décimètre carré émet donc par heure, dans ce cas, une quantité de chaleur équivalente à 140 watts-heure.

On suit ces indications lorsqu'on veut établir des grils à côtelettes, des réchauds, etc. La

quantité de chaleur développée par heure sous un appareil de ce genre étant de 420 watts, il faut, pour l'écouler, prévoir une surface de 3 décimètres carrés.

Coût de l'énergie électrique. — M. Colin a donné quelques chiffres qui permettent de comparer les dépenses qu'entraîne l'usage des chauffoirs électriques, à celles des appareils de chauffage ordinaires.

Dans les villes ayant un secteur, le courant se vend en général à raison de 0^{fr},10 l'hectowatt-heure.

Le chauffage à l'électricité se répandant, ce prix pourra être abaissé à 0^{fr},06.

Pour les installations privées d'éclairage, dans une grande ville, le prix de revient de l'hectowatt-heure est de 0^{fr},035 environ.

Ce prix est quatre fois plus faible chez l'industriel qui dispose déjà d'une force motrice; le cheval-heure peut alors être produit à raison de 200 francs par année de 3 000 heures; soit à raison de 0^{fr},07 le cheval-heure et, par conséquent, 0^{fr},009 l'hectowatt-heure.

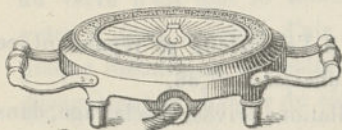
Avec les forces naturelles le cheval-heure-électrique ne revenant plus qu'à 0^{fr},011, l'hectowatt-heure ne coûterait plus que 0^{fr},0015.

Il ressort de ces chiffres, et pour ne parler que des cas où la force motrice est fournie par la machine à vapeur, que l'on peut admettre, comme limite du coût du chauffage correspondant à un hectowatt-heure, 0^{fr},06 dans une grande ville ou secteur, et 0^{fr},02 chez l'industriel.

M. Colin divise en plusieurs catégories les chauffoirs électriques pour déterminer les dépenses qu'ils entraînent.

Dans le premier groupe, il comprend les appareils qui, comme le chauffe-plat rond ou carré

Fig. 4

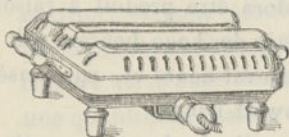


carré (*fig. 4*), la chaufferette à poignée et le chauffe-pieds fixe (*fig. 5*), absorbent en-

viron 260 watts, soit 2^{amp},25 et 110 volts.

En admettant un fonctionnement d'une heure,

Fig. 5



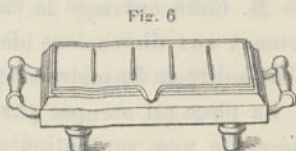
la dépense sera de 0^{fr},15 à la ville et 0^{fr},05 chez un industriel.

Le deuxième groupe renferme les chauffoirs qui, comme les grils (*fig. 6*) ne fonctionnent que dix minutes environ, mais

absorbent une quantité double d'énergie électrique : 5 hectowatts, par $4^{\text{amp}},5$ et 110 volts.

La dépense sera, pour une cuisson, de $0^{\text{fr}},05$ sur le secteur ; $0^{\text{fr}},017$ chez l'industriel.

M. Colin a déterminé les dimensions de plusieurs



autres chauffeoirs électriques, comme les bouilloires, les calorifères, appareils de chauffage pour appartement, ainsi que rhéostats pour installations électriques.

Bouilloires. — Dans un appareil d'un litre, on ne peut guère donner une surface de contact de plus de 15 centimètres de diamètre, ce qui donne $1^{\text{dm}^2},76$, si l'on veut avoir une bouilloire facile à manier.

En prenant comme chauffeoir le grille-bifteck, c'est-à-dire 450° pour la température du fil et 300 à 350° pour celle de la plaque chauffeuse, le calcul indique que la bouilloire peut absorber 3 hectowatts par décimètre carré et, par conséquent, $5^{\text{hw}},28$ pour $1^{\text{dm}^2},76$, surface de la base de la bouilloire considérée.

Cette bouilloire fonctionne avec 5 ampères et 110 volts, soit 550 watts, et le temps nécessaire

pour porter 1 litre d'eau de 15 à 100° est de 10'40", soit 12 minutes environ.

Appareils de chauffage pour appartements.

— M. Colin envisage le chauffage d'un appartement aux dimensions de $4^m \times 4^m \times 3^m,1$, c'est-à-dire de 50 mètres carrés de capacité.

La pièce est occupée par 4 personnes, ce qui nécessite une ventilation de 40 mètres cubes par heure ; et si l'on suppose que la température de l'air qui circule s'élève de — 5 à 17° (soit 22° d'élévation) la quantité de chaleur à fournir sera de

$$0,238 \times 1,293 \times 40 \times 22 = 270 \text{ chev.-heure.}$$

La perte de chaleur par rayonnement, en une heure, d'une pièce de 50 mètres carrés sera de 2 300 calories, et la perte par les vitres atteindra 225 calories. D'où, pour la quantité totale de chaleur à fournir par heure : $270 + 2\,300 + 225 = 2\,795$ calories.

En comptant 2 800 calories par 50 mètres cubes de capacité et par heure, on arrive à 56 calories par mètre cube et par heure, ou 65 watts.

La pratique a fait admettre 80 watts pour les appartements bien ventilés et 65 watts pour les

petites pièces ordinairement entourées par des espaces chauffés.

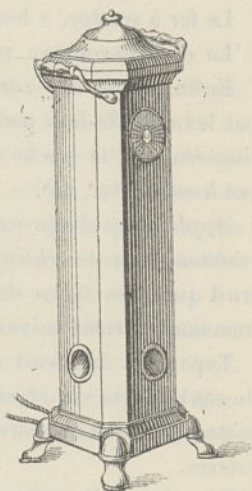
Le coût du chauffage de 1 mètre carré de capacité est donc de 0^{fr},04 sur le secteur et de 0^{fr},013 chez l'industriel.

Les modèles les plus courants appliqués au chauffage des appartements sont les calorifères (*fig. 7*) où l'appareil chauffe à la fois par rayonnement et par circulation d'air. Ce modèle absorbe 22 hectowatts (20 ampères et 110 watts).

On classe dans cette catégorie le radiateur de salon formé de deux plaques chauffeuses parallèles pouvant fonctionner séparément et absorbant aussi 22 hectowatts, soit 3 chevaux-électriques.

Petits appareils divers. — Les principes si bien étudiés par M. Colin ont été appliqués à un grand nombre de petits appareils d'un usage courant :

Fig. 7



Le chauffe-fer à friser, avec un courant de $0^{\text{amp}},75$ et de 110 volts pendant cinq à six minutes ;

La cuisinière électrique, absorbant à volonté 6 ou 15 hectowatts ;

Le chauffe-assiettes pour restaurant, 30 watts par décimètre carré de plaque.

Le fer à souder, 2 hectowatts.

Le chauffe-couteau pour boucher, 165 watts.

Enfin, toute une série de modèles complétée par les chauffe-fers pour tailleurs, chapeliers et lingères, par la poêle à frire, la bassinoire, le pot à colle, etc., etc.

Application du procédé à la construction des résistances et des rhéostats. — M. Colin a construit quelques types de rhéostats, dont les dimensions varient suivant l'énergie absorbée.

Type d'un kilowatt (10 ampères, 110 volts) ; 30 centimètres sur 35 centimètres, avec 14 millimètres d'épaisseur pouvant être réduite à 8 millimètres.

Type de 10 kilowatts (100 ampères, 110 volts) ; $0^{\text{m}},30$ sur $0^{\text{m}},30$ et $0^{\text{m}},25$ d'épaisseur.

En plaçant les plaques dans l'eau, on arriverait facilement, pour 10 kilowatts, à $0^{\text{m}},20$ sur $0^{\text{m}},20$ avec une épaisseur de $0^{\text{m}},15$.

Applications aux tramways. — Ces rhéostats

trouvent leur application dans les tramways électriques :

1° Comme résistances de mise en marche des voitures ;

2° Comme radiateurs pour le chauffage de l'air de la voiture ;

3° Comme plaques chauffeuses placées sous les pieds des voyageurs.

Remarque. — Nous ne nous étendrons pas davantage sur les recherches si intéressantes de M. Colin ; mais ce qui vient d'en être présenté suffit pour connaître l'état actuel de la question des appareils de chauffage électrique, depuis les températures d'appartement jusqu'à celles qui sont voisines du rouge sombre.

M. Charpy nous avait fait connaître un four où la température atteinte pouvait être de 1300° . Il nous faut examiner maintenant les fours électriques et appareils qui développent des températures plus élevées.

(1) De samlede indtægter af de forskellige
 skatter og afgifter, som er beskrevet i
 de følgende afsnit, er for 1911 og 1912
 som følger:

1. Indtægter af de forskellige skatter og
 afgifter, som er beskrevet i de følgende
 afsnit, er for 1911 og 1912 som følger:

2. Indtægter af de forskellige skatter og
 afgifter, som er beskrevet i de følgende
 afsnit, er for 1911 og 1912 som følger:

3. Indtægter af de forskellige skatter og
 afgifter, som er beskrevet i de følgende
 afsnit, er for 1911 og 1912 som følger:

4. Indtægter af de forskellige skatter og
 afgifter, som er beskrevet i de følgende
 afsnit, er for 1911 og 1912 som følger:

5. Indtægter af de forskellige skatter og
 afgifter, som er beskrevet i de følgende
 afsnit, er for 1911 og 1912 som følger:

6. Indtægter af de forskellige skatter og
 afgifter, som er beskrevet i de følgende
 afsnit, er for 1911 og 1912 som følger:

7. Indtægter af de forskellige skatter og
 afgifter, som er beskrevet i de følgende
 afsnit, er for 1911 og 1912 som følger:

8. Indtægter af de forskellige skatter og
 afgifter, som er beskrevet i de følgende
 afsnit, er for 1911 og 1912 som følger:

9. Indtægter af de forskellige skatter og
 afgifter, som er beskrevet i de følgende
 afsnit, er for 1911 og 1912 som følger:

10. Indtægter af de forskellige skatter og
 afgifter, som er beskrevet i de følgende
 afsnit, er for 1911 og 1912 som følger:

DEUXIÈME PARTIE

L'ARC VOLTAÏQUE ET LES CHARBONS ÉLECTRIQUES

CHAPITRE PREMIER

L'ARC VOLTAÏQUE

Historique. — L'arc voltaïque constitue un four électrique à haute température dans sa forme la plus élémentaire.

Il a été d'abord le premier genre de lumière électrique connu, car Humphry Davy le produisit vers 1813. L'intensité lumineuse de l'arc provient des particules matérielles très divisées qu'il renferme et qui sont portées au rouge blanc. Ces particules sont arrachées et entraînées d'un pôle à l'autre par le courant. Les deux points de rupture du circuit qui constituent l'entrée et

la sortie de l'arc étant portés à une haute température, il fallait choisir comme conducteur un corps qui supportât les chaleurs les plus intenses ; le charbon était tout indiqué pour former les extrémités du circuit.

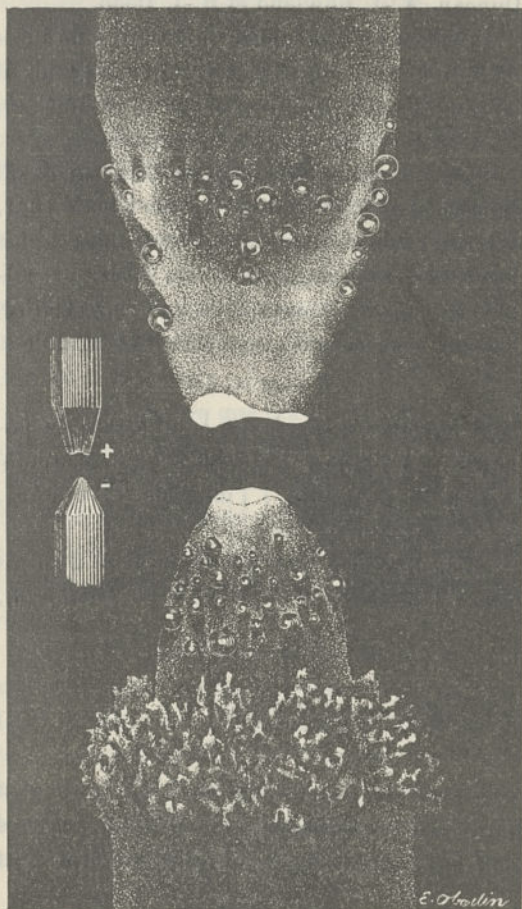
La *fig. 8* représente l'image de deux charbons entre lesquels jaillit un arc voltaïque appliqué comme source de lumière ; les petits globules et les stries, que l'on aperçoit près des extrémités des charbons, proviennent des impuretés de ces derniers ; impuretés composées en général de silice et d'oxyde métallique.

On remarque que le charbon positif s'use en forme de cratère, et le charbon négatif en forme de pointe.

L'arc voltaïque a fait l'objet des recherches d'un grand nombre de savants qui ont cherché à déterminer son intensité lumineuse en fonction de l'intensité du courant et de l'énergie électrique dépensée, sa résistance, sa force contre-électromotrice, sa température.

Si l'on a des données précises relatives à l'intensité lumineuse et à la température développée par l'arc, il n'en est pas de même pour ce qui concerne sa résistance et sa force contre-électromotrice, malgré les travaux remarquables de Jamin, Leroux, Latschinoff, Frælich, Thomson-

Fig. 8



Houston, Ayrton et Perry, enfin les savants Louis Duncan, A.-J. Rowland et R.-J. Dodd.

Il n'entre pas dans notre programme de nous étendre longuement sur ces recherches ; mais il est intéressant d'en présenter ici un résumé.

Recherches de MM. Louis Duncan, A.-J. Rowland et R.-J. Dodd. — Vers l'année 1871, Edlemd, voulant expliquer quelques-uns des phénomènes qui accompagnent l'arc électrique, admet qu'il existait dans l'arc une *force contre-électromotrice* constante, et établit la formule

$$E = a + bil$$

dans laquelle : E représente la différence de potentiel aux bornes, *a* la force contre-électromotrice, *b* une constante, *i* l'intensité du courant, et *l* la longueur de l'arc.

Cette expression n'est pas rigoureuse. D'autres furent proposées : celles de M. S. P. Thompson,

$$E = a + \frac{bl}{i}$$

et de MM. Cross et Shepard,

$$E = ai + bil.$$

D'après MM. Louis Duncan, A.-J. Rowland et R.-J. Dodd, ces formules, tout en étant très exactes pour les expériences sur lesquelles elles sont

basées, ne sont plus applicables lorsque les conditions expérimentales sont changées.

En fait, on peut obtenir à peu près tous les résultats en modifiant ces conditions ; mais l'on n'a pas encore complètement réussi à trouver la partie du phénomène qui est constante et à la distinguer de la partie variable.

L'existence de la force contre-électromotrice dans l'arc, si toutefois elle existe, ajoutent ces savants, a été expliquée de deux façons : par l'évaporation du charbon positif, ou par l'effet thermo-électrique du couple charbon-vapeur et charbon.

On peut admettre que ces deux effets doivent jouer un rôle dans le phénomène.

Pour l'élucider, MM. Louis Duncan, A.-J. Rowland et R.-J. Dodd ont procédé à un grand nombre de mesures d'arc voltaïque à diverses pressions, et ils sont arrivés aux conclusions suivantes :

1° La force contre-électromotrice de l'arc est formée de deux parties, une force électromotrice due à la volatilisation du charbon, indépendante de la longueur de l'arc, de l'intensité du courant et des dimensions des charbons, mais dépendant de la pression ; et une force électromotrice thermo-électrique, variable, dépendant de la lon-

gueur de l'arc, du courant, des dimensions des charbons et de la pression.

Pression en atmosphères	Valeur de a pour des écartements en millimètres		
	1,5 et 3	1,5 et 4,5	1,5 et 6
vide	13,91	19,90	21,65
1	36,28	36,94	37,58
2	35,94	38,48	39,43
4	34,50	36,20	38,00
6	43,32	44,49	"
8	46,53	45,40	"
10	48,10	48,50	"

Pression en atmosphères	Valeur de a pour des écartements en millimètres	
	3 et 4,5 mm.	4,5 et 6 mm.
vide	"	"
1	37,89	35,61
2	38,94	42,66
4	45,18	45,36
6	48,00	45,90
8	42,11	"
10	50,70	"

Voici quelques valeurs de la force contre-élec-

tromotrice trouvées par ces savants, qui avaient adopté comme formule de régime de l'arc voltaïque

$$E = a + f(l)f'(i) + bl'(l)f'(i).$$

Comme l'intensité du courant i était restée constante, dans la plupart des expériences, et égale à 6 ampères, la valeur de a considérée comme une constante pouvait être calculée par $E = a + blf'(i)$, quelle que soit la fonction f' .

2° Comme la tendance de l'arc est d'accroître sa section quand le courant augmente, sa résistance doit diminuer avec l'augmentation du courant.

3° La diminution apparente de la force électromotrice avec l'augmentation du courant est probablement due à la diminution de la force thermo-électrique, causée par l'échauffement du charbon négatif, et à la diminution de la résistance.

4° La différence de potentiel augmente constamment avec la pression, au-dessus de la pression atmosphérique. Au-dessous, la différence de potentiel augmente dans l'autre sens.

5° La force contre-électromotrice semble augmenter avec la pression, tandis que la résistance ohmique ne varie pas beaucoup.

Remarque. — Malgré l'intérêt que présentent les résultats obtenus par ces savants, l'analyse du phénomène n'est pas encore complète, et nous croyons qu'elle ne pourra le devenir que si l'on applique le calorimètre à l'étude de l'arc voltaïque ; c'est le seul appareil, du reste, qui convienne, lorsqu'on veut établir rigoureusement le régime d'un système à transformation d'énergies, quand celles-ci ne sortent pas du mode des énergies caloriques et chimiques.

On sait tout le parti que Favre a su déjà tirer du calorimètre dans ses travaux sur l'énergie voltaïque des piles.

Recherches de M. Violle. — Le fait capital des travaux de M. Violle, c'est que l'arc voltaïque est le siège d'un phénomène physique parfaitement défini : l'ébullition du carbone.

Ce phénomène est attesté, suivant ce savant, par la constance de l'éclat et de la température, ainsi que par toutes les circonstances qui caractérisent l'ébullition normale.

La constance de l'éclat avait été annoncée par Rossetti ⁽¹⁾, et affirmée par M. Sylvanus Tomson,

(1) M. Rossetti avait aussi indiqué que les deux extrémités polaires des charbons ont des températures fort différentes l'une de l'autre.

d'après des expériences inédites du capitaine Abney. M. Violle a trouvé que l'éclat du charbon positif est rigoureusement indépendant de la puissance électrique dépensée à produire l'arc, en opérant dans des limites étendues (1).

Ampères	Volts	Watts	Chevaux-vapeur
10	50	500	0,7
400	85	3 400	46

M. Blondel a démontré que les impuretés que peuvent contenir les charbons ordinaires n'altèrent pas l'éclat du cratère positif. On s'en rend compte aisément, dit M. Violle, si l'on remarque que les impuretés se volatilisant à des températures relativement basses, c'est exclusivement du carbone qui bout au pôle positif.

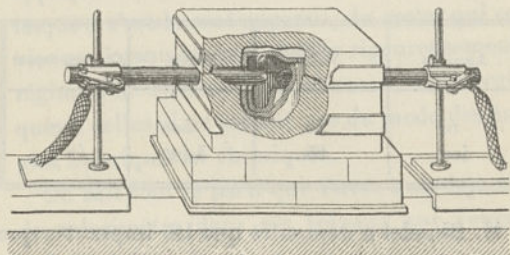
Dans ses expériences, ce savant eut surtout à éviter les causes d'erreur qui pouvaient provenir

(1) Un grand nombre d'expériences auraient donné à ce savant, pour l'extrémité polaire positive du charbon, la température maxima de 3 900° centigrades environ; pour l'extrémité polaire négative, la température d'environ 3 150°. Pour l'arc voltaïque qui jaillit entre ces deux extrémités, la température serait de 4 800°, quelles que soient l'épaisseur de l'arc et l'intensité du courant.

des courants d'air; il obvia à cet inconvénient en opérant dans un four électrique de disposition spéciale (*fig. 9*).

Si l'on prend pour cathode un charbon creux,

Fig.9



on peut constater au pôle négatif la condensation de la vapeur de carbone qui vient former à l'intérieur du tube une trame cristalline se développant, à la manière des dépôts électrolytiques du plomb ou de l'argent, pour disparaître ensuite quand la cathode sera suffisamment échauffée.

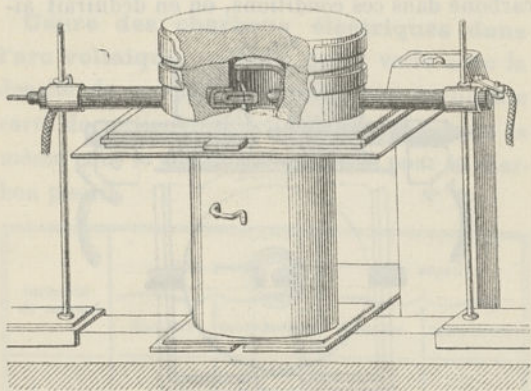
D'une façon générale, on peut juger de la température obtenue dans le four par le simple aspect du charbon négatif qui se nettoie d'autant mieux que cette température est plus élevée, en même temps que l'éclat du charbon positif s'uniformise remarquablement, la taille restant parfaitement nette et sans trace de fusion.

Une conséquence de la fixité de l'éclat du char-

bon positif est l'emploi de ce charbon comme étalon photométrique secondaire.

M. Violle a essayé également de déterminer la température d'ébullition du carbone ; il a employé pour cette détermination la méthode calo-

Fig. 10



rimétrique avec des dispositions particulières du four électrique (*fig. 10 et 11*).

L'électrode positive est formée d'un gros tube logeant lui-même un deuxième tube qui contient une baguette terminée intérieurement par un bouton de même diamètre que le deuxième tube.

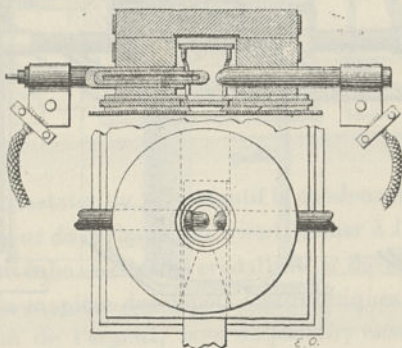
Quand ce bouton aura pris la température voulue, il suffira de tirer vivement sur la baguette pour le détacher.

Il sera alors reçu dans un petit vase en cuivre placé au milieu de l'eau du calorimètre amené sous le four.

La chaleur apportée est alors mesurée suivant le procédé habituel.

Si l'on connaissait la chaleur spécifique du carbone dans ces conditions, on en déduirait ai-

Fig. 11



sément la température cherchée. Comme cette chaleur spécifique est encore mal connue, il ne faut regarder que comme approximatif le nombre 3500° trouvé par M. Violle dans son expérience.

Intensité lumineuse de l'arc voltaïque.

— Voici les chiffres admis généralement :

Force absorbée par :

1 régulateur de 500 becs carcel	ou :	5 000 bougies . .	3 chevaux-vapeur
"	de 150 becs carcel	1,5	"
"	de 80 "	1	"
"	de 30 "	0,5	"

Usure des charbons électriques dans l'arc voltaïque. — Cette usure varie avec la densité de courant (intensité par centimètre carré de section), et cette densité n'est pas la même pour le charbon négatif que pour le charbon positif.

Intensité du courant	Pôle positif		Pôle négatif	
	diamètre	usure horaire	diamètre	usure horaire
4 ampères	10 ^{mm}	18 ^{mm}	6 ^{mm}	18 ^{mm}
7 "	10	22	10	12
8 "	13	16	13	8
8 "	14	15	10	13
8 "	15	12	10	12
10 "	15	15	15	8
10 "	17	12	11	12
10 "	19	10	13	9
20 "	19	16	13	16
25 "	25	10	18	9
50 "	25	20	18	20

Elle est un peu plus grande chez les premiers que chez les seconds ; le tableau de la p. 61 donne l'usure pour les charbons aux deux pôles, lorsqu'on fait varier l'intensité du courant et le diamètre du charbon, le courant employé étant continu.

Le cuivrage, selon son épaisseur, peut augmenter ces durées de 15 à 30 %.

Les usures correspondant aux courants alternatifs sont la moyenne environ de celles ci-dessus indiquées.

Si l'on compare deux charbons de même diamètre mais de duretés différentes, le plus dur s'usera moins vite que le plus tendre.

Suivant M. G. W. Parker on peut obtenir la même usure avec des charbons d'inégale dureté en diminuant, dans un rapport convenable, le diamètre du charbon le plus dur.

Le directeur des ateliers de la Société Gramme a fait une série d'expériences sur des crayons de diverses compositions et dont les diamètres variaient entre 7,5 et 20 millimètres ; il a trouvé des usures horaires oscillant entre 0^m,031 et 0^m,060.

En comptant une usure moyenne de 0^m,08, la dépense horaire correspondant à un arc de

100 carrels serait, suivant Fontaine, de 0^{fr},10 (1890).

Il est vrai que l'on fait des progrès incessants dans la fabrication des charbons qu'on livre aujourd'hui plus purs et meilleur marché qu'il y a sept ans.

Dureté, conductibilité. — Les charbons durs ont une meilleure conductibilité que les charbons tendres et conviennent mieux aux systèmes à bas potentiels, où l'on emploie des courants intenses, à arc court.

Dans les systèmes de hauts potentiels, où l'on fait usage de faibles courants et d'arc long, la dureté et la conductibilité du charbon sont d'importance secondaire.

Éclat de la lumière. — A diamètre égal, les charbons tendres donnent plus de lumière que les charbons durs, et ceux-ci, dans certaines limites, donnent d'autant plus de lumière qu'ils sont plus minces.

C'est du moins ce qui résulte d'une communication de M. G. W. Parker, à la convention de Pittsburg.

Voici les diamètres des crayons de charbon pour lampe à arc, en fonction de l'intensité du courant.

Pour de très gros arcs on emploie des faisceaux

de charbon de 4 millimètres de diamètre ou des crayons cannelés.

Lampes à arc	Diamètre des crayons en millimètres
De 3 à 5 ampères	4
// 5 à 6 //	5
// 7 à 10 //	7
// 10 à 11 //	9
// 11 à 15 //	10
// 12 à 16 //	11
// 13 à 20 //	12
// 15 à 24 //	13
// 16 à 25 //	14
// 25 à 30 //	15
// 30 à 45 //	17
// 35 à 60 //	18
// 40 à 80 //	20
// 50 à 120 //	25
// 80 à 140 //	30

L'arc voltaïque en vase clos. — M. le D^r Marks a fait une étude très intéressante de cette question qu'il a présentée à la Société internationale des Électriciens, au mois de février 1897.

Les premières expériences d'un arc enfermé sont dues à Staite, et datent de 1846; en 1878 F. H. Varley inventa une lampe munie d'une

chambre close dans laquelle un filet de poudre de charbon tombait d'une électrode sur l'autre, à la manière d'un sablier.

Le jet de poudre était porté à l'incandescence par le courant.

En 1879 George André imagina une lampe électrique dans laquelle les charbons étaient enfermés à l'abri de l'air dans un large globe, où aucun dispositif n'était ménagé, ni pour l'entrée, ni pour la sortie de l'air.

Vers cette époque j'ai essayé de faire brûler une bougie Jablochhoff dans un espace confiné et j'ai constaté que les parois intérieures du globe qui contenait la bougie étaient rapidement recouvertes d'une couche de charbon mélangé à de la matière du colombin (sulfates de baryte et de chaux), au point que la lumière était presque entièrement interceptée.

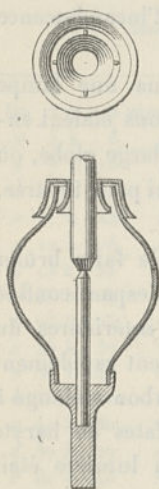
Citons encore, pour mémoire, quelques types de lampe à arc incandescent comme les modèles de Jansen, 1875, Scott, 1878, Wedermann, 1882.

En Amérique, la première tentative d'application de l'arc en vase clos remonte à 1880, époque où Beardlee produisit sa lampe et où William Baxter fit des essais de lampes en vase clos de longue durée.

M. Marks commence ses recherches en colla-

boration avec M. Howarld, vers 1892, et étudie un arc ventilé au moyen d'un appareil spécial (*fig. 12*).

Fig. 12



Le globe au centre duquel doit jaillir l'arc est hermétiquement fermé, à la partie inférieure, par un disque de laiton.

A la partie supérieure se trouve un bouchon métallique, en forme de double cloche, qui constitue la nouveauté de l'appareil.

La cloche extérieure épouse la forme du globe de verre et laisse un très faible espace annulaire par lequel passe l'air qui pénètre dans l'appareil.

Le tableau de la p. 67 montre la durée des charbons positif et négatif en fonction de l'ouverture pratiquée dans le bouchon métallique qui fermait le globe.

Voici quelles étaient les conditions de l'expérience : diamètre des charbons, 11^{mm}, 11 ; intensité du courant, 8 ampères ; différence de potentiel aux bornes, 62 volts.

L'orifice qui donnait passage au charbon supérieur était sensiblement du même diamètre

que le charbon, pour les quatre premières expériences; dans l'avant-dernière, le diamètre de l'orifice dépassait de 6^{mm},35 celui du charbon; et enfin, dans le dernier essai, le bouchon a été totalement enlevé.

Diamètre de l'orifice du bouchon en millimètres	Usure horaire en millimètres	
	charbon positif	charbon négatif
11,15	2,222	0,102
11,905	1,988	0,312
12,7	1,905	0,424
14,287	2,328	0,424
17,46	2,753	0,534
28,575	11,556	8,077

L'usure croît à mesure que le diamètre de l'orifice augmente et, lorsque l'air peut rentrer librement dans l'appareil, l'usure est près de 6 fois plus grande pour le pôle positif, 80 fois plus grande pour le pôle négatif, que lorsque le globe est hermétiquement fermé.

On remarque aussi que le rapport entre l'usure du charbon positif et du charbon négatif qui est de 22 environ dans ce dernier cas, descend à 1,43 lorsque l'arc brûle à l'air libre.

M. Marks introduit ensuite dans le globe différents gaz.

Avec l'hydrogène, l'intensité du courant variant de 6 à 11 ampères et les volts aux bornes de 60 à 77, la longueur de l'arc oscillait entre $1^{\text{mm}},65$ et $2^{\text{mm}},56$.

L'hydrogène a pour effet d'augmenter la résistance de l'arc.

L'iode a une action semblable à celle de l'hydrogène : le courant variait de 5,5 à 8 ampères ; le voltage de l'arc de 70 à 75 volts ; la longueur maxima de l'arc était de $3^{\text{mm}},17$ et la longueur minima de $2^{\text{mm}},79$.

Le chlore agit différemment et diminue la résistance de l'arc : le courant variait de 2,3 à 8 ampères ; le voltage de l'arc était compris entre 80 et 96 volts ; sa longueur entre $6^{\text{mm}},35$ et $36^{\text{mm}},32$.

M. Marks essaye également des charbons enduits de diverses matières, comme le carbonate de soude, le chlorure d'ammonium, la magnésie, etc., etc.

Un des points intéressants était de voir si l'intensité lumineuse fournie par une lampe à atmosphère confinée était différente de l'intensité de la lampe à air libre.

Les observations faites à ce sujet par M. Marks sont fort intéressantes ; elles s'écartent trop de notre programme pour trouver ici leur place.

M. Arnoux a fait remarquer, à propos de ces recherches, que si l'arc électrique en vase clos, ou à peu près, consomme très peu de charbon sous forme de crayons, il en consomme en revanche le double des arcs à air libre sous forme d'énergie électrique, puisque, pour un même courant, il faut porter de 42 à 85 volts la différence de potentiel aux bornes de la lampe.

CHAPITRE II

CHARBONS ÉLECTRIQUES

Historique. — Nous avons vu que le charbon était la seule matière remplissant les conditions pour maintenir un arc voltaïque d'un puissant éclat; de même il serait difficile de concevoir un four électrique dont les électrodes ne seraient pas constituées par du charbon.

Mais il existe des charbons de toutes sortes et le choix de la qualité n'est pas toujours facile.

Sir Humphry Davy avait employé des charbons de bois éteints dans de l'eau ou du mercure; ces baguettes de charbon s'usaient trop vite pour fournir un éclairage de longue durée; on chercha alors une matière plus compacte.

Foucault proposa le *charbon de cornue*, c'est-à-dire le charbon qui se dispose le long des parois des cornues à gaz et s'y accumule.

Ce charbon était plus dur que le charbon de

bois, mais il manquait d'homogénéité ; il renfermait aussi des matières terreuses, notamment de la silice qui fondait, faisait souvent éclater le charbon, et excitait des évolutions dans une lumière déjà trop agitée, en produisant des sifflements. On songea à produire un charbon artificiel ; c'est Bunsen qui y réussit le premier, vers 1838 ou 1840, en cherchant une matière convenable pour constituer le cylindre de charbon qui joue un rôle essentiel dans sa pile à acide azotique.

Il agglomérât, avec de la colle, de la houille sèche finement pulvérisée, et faisait cuire au four les blocs ainsi obtenus ; mais, comme les blocs se fendillaient, il eut l'idée, pour leur donner plus de solidité, de les tremper dans un sirop de sucre et de les soumettre à une seconde cuisson ; au besoin on peut faire plusieurs immersions et cuissons successives.

En 1846, Staite et Edwards brevètent un procédé qui rappelle celui de Bunsen, mais en spécifiant que les charbons agglomérés sont appliqués à l'arc voltaïque.

En 1849, Le Molt ajoute du goudron au sirop de sucre et emploie des poudres de charbon différentes qu'il fait cuire trente heures et purifie ensuite par immersion dans les acides.

En 1852 Watson et Slater recommandent des brindilles de bois, purifiées à la chaux, cuites plusieurs fois, après avoir été trempées à chaque cuisson dans l'alun et dans la mélasse.

Plus tard, en 1857, Lacassagne et Thiers reviennent au charbon de cornues à gaz qu'ils purifient; vers la même époque M. Jacquelain fabrique un charbon très pur, avec des goudrons provenant de la distillation de la houille et des schistes.

Un peu plus tard, Archereau recommande de mélanger au charbon quelques proportions de magnésie, et a, le premier, l'idée de comprimer la pâte à travers une filière.

Vers 1876, Carré réalise de grands perfectionnements dans la fabrication des charbons agglomérés, en employant pour les comprimer une presse hydraulique de grande puissance.

La pâte de ses charbons se composait de : quinze parties de coke très pur, réduit en poudre très fine, cinq parties de noir de fumée calcinée, et cinq à huit parties de sirop de sucre additionné d'un peu de gomme.

M. E. Carré, qui prit la suite des expériences de son frère, réussit à faire des charbons de toutes longueurs et de tous diamètres; c'est autant à M. E. Carré qu'à M. Gramme, qui réalisa

rapidement un bon type de machine à courants alternatifs, que la bougie Jablochkoff a dû en 1878 sa rapide extension.

Parmi les collaborateurs de la première heure de M. Jablochkoff, qui ont réussi à rendre la bougie ce qu'elle est encore aujourd'hui, il faut citer Alexandroff qui trouva l'allumage, Parent la nature du colombin fixé entre les deux charbons et la manière de le façonner (1878).

L'aggloméré qui réunit les deux douilles et assure la parallélisme des charbons est dû à l'auteur de ce volume (1879).

La maison Carré est actuellement dirigée par M. Berne.

En 1877, M. Gaudoin a réussi également la fabrication de charbons d'excellente qualité. Un peu plus tard, Napoli réalisa de nouveaux progrès, en fabriquant des baguettes destinées aux lampes d'incandescence à l'air libre du système Regnier-Wedermann.

Son but était d'obtenir un charbon brûlant moins vite que les charbons Carré ou Gaudoin.

Il y arriva, et l'usure de ses crayons était descendue à 5 centimètres seulement par heure d'éclairage, tandis que les autres charbons brûlaient cinq fois plus vite dans les mêmes conditions.

Ce résultat fut atteint, tout à la fois, par un choix judicieux des matières premières employées et des moyens mis en œuvre pour les agglomérer.

Parmi les ingénieurs qui se sont occupés de la question des charbons, il convient de citer Godwin, dont l'usine, située à Asnières-Courbevoie, appartient actuellement à M. Mors ; M. Mainbostel ; M. Lacombe qui a réussi la fabrication de charbons de toutes sortes pouvant s'appliquer aussi bien aux fours électriques qu'à l'éclairage, et dont les procédés sont exploités par la Société « Le Carbone », à Levallois-Perret.

Cette Société fabrique également des charbons de toutes les formes et pour tous usages.

C'est dans l'usine de Levallois-Perret que MM. Street et Girard ont poursuivi les expériences qui devaient les amener à la production du charbon graphitique.

Citons encore la Société Française des charbons électriques de Nanterre ; et la Compagnie qui exploite les procédés Mainbostel à Pont-à-Mousson.

Charbons pour fours électriques. — Le charbon employé dans les fours électriques ne diffère pas sensiblement des charbons à lumière ;

il est plus facile à fabriquer et meilleur marché, étant données ses dimensions.

Il se livre en général sous la forme de gros cylindre de 1 mètre à 1^m,50 de longueur et de 10 à 15 centimètres de diamètre.

Nous ne conseillons pas l'emploi de charbons de section plus grande ; pour le cas où l'intensité du courant nécessite une forte section, il est préférable d'employer un faisceau de charbons, qu'un charbon unique de grand diamètre.

C'est ainsi que, pour la production électrolytique de l'aluminium, j'utilisais comme anodes, pour un courant de quatre mille ampères, huit crayons de charbon de forme parallépipédique, de 40 centimètres de longueur et de 100 centimètres carrés de section.

Ce charbon était tendre ; il réussissait très bien dans un bain fondu, où la différence de potentiel aux électrodes n'excédait pas huit volts ; son emploi serait moins avantageux dans un four à arc, qui réclame des charbons plus durs, sauf peut-être dans la fabrication des carbures.

En général, les électro-métallurgistes façonnent eux-mêmes leurs électrodes.

Cependant on trouve aujourd'hui, facilement et à des prix modiques, des charbons pour four électrique, dans les diverses sociétés nommées

plus haut, au point qu'il n'y a de réelle économie à fabriquer le charbon soi-même que pour des entreprises considérables.

Pour arriver à faire de bons charbons il faut du reste un apprentissage long et coûteux par lequel ont passé tous les fabricants.

Applications des charbons à l'électrolyse. — Les charbons agglomérés employés comme anodes dans l'électrolyse par voie humide résistent mal en général ; aussi est-on souvent forcé d'employer à leur place le platine, comme dans la fabrication du chlorate de potasse par exemple (Gall et de Montlaur). Plusieurs tentatives ont été essayées dans ces derniers temps, pour augmenter la résistance des charbons à l'attaque des agents chimiques ; Kellner, Lessing, Girard et Street, chacun de son côté, ont obtenu déjà des résultats très intéressants.

L'objectif de ces ingénieurs était d'obtenir des charbons plus denses, et de modifier en même temps leur structure, de façon qu'elle se rapprochât le plus possible de la structure graphitique.

M. Kellner y arrive en lançant dans le charbon à transformer un courant puissant qui le porte à la température du rouge blanc ; il prend la pré-

caution de l'entourer de poudre de charbon qui le protège contre l'oxydation de l'air.

Le D^r Lessing, partant de l'idée que l'attaque des charbons et leur détérioration rapide résultent surtout de leur porosité, s'est proposé de créer une substance absolument compacte, littéralement, dit-il, du charbon fondu, possédant, dans toute sa masse, une structure d'une parfaite homogénéité; en d'autres termes, faire des anodes en charbon chimiquement pur, présentant aux influences mécaniques la résistance la plus grande possible et une conductibilité électrique parfaite.

Four Girard et Street. — Les charbons graphitiques de MM. Street et Girard répondent aussi à ces desiderata; nous avons décrit ⁽¹⁾ le procédé employé par ces ingénieurs; nous reproduisons ici le four dont ils se sont servis dans leurs recherches.

La *fig. 13* montre, partie en coupe, partie en élévation, cet appareil qui est applicable au chauffage des matières solides sous forme de tiges, barres ou fils.

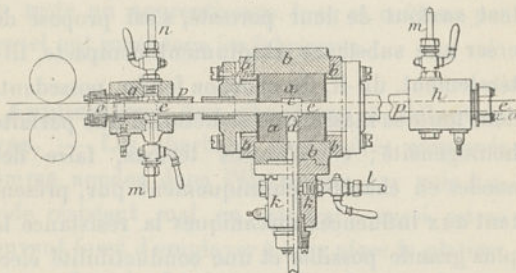
Il est constitué par un bloc en matière réfrac-

(1) A. MINET. — *L'Électro-métallurgie*, p. 181. Encyclopédie Scientifique des Aide-Mémoire, Gauthier-Villars et Masson, éditeurs.

taire *a*, en une ou plusieurs parties maintenues par une enveloppe métallique extérieure *b*.

Le bloc réfractaire présente dans son centre

Fig. 13



une cavité *c*, qui est la chambre de chauffe proprement dite.

A cette chambre de chauffe viennent aboutir un orifice recevant un charbon *d* et un couloir ou canal, qui traverse la matière réfractaire d'outre en outre, et dans lequel la barre *e*, à soumettre au traitement, est introduite.

Cette barre *e* est animée d'un mouvement de translation, qui lui fait traverser le four et la chambre de chauffe avec une vitesse qui doit être fonction de sa masse et de la température à laquelle on désire la porter.

La chambre de chauffe proprement dite est constituée par un bloc de charbon, en une ou

plusieurs pièces, suivant les dimensions de l'appareil.

Dans le modèle représenté par le dessin, le circuit est constitué par la pièce à chauffer *e*, d'une part, et par le charbon *d*, d'autre part.

L'arc jaillit entre les deux électrodes, se maintient fixe dans l'espace, malgré le mouvement de translation de la pièce *e*, et prend naissance successivement sur tous les points d'une génératrice de la pièce à chauffer, portant ces points à une température très élevée ⁽¹⁾.

On comprend aisément que la vitesse avec laquelle la pièce sera mise en mouvement commandera la température moyenne qu'atteindra chaque élément de cette pièce.

Dans le cas où la chauffe doit se produire dans une atmosphère de gaz appropriée, la pièce *e* traverse des presses-étoupes *g* et *h*, à son entrée et à sa sortie du four.

Le charbon *d* traverse également un presse-étoupe *K*.

(1) Un fait qui rendra compte de la haute température atteinte dans le four de MM. Girard et Street : le charbon, transformé en graphite, sort du four, parfois, complètement déformé, sans présenter la plus petite fissure ; il paraît avoir subi un commencement de fusion.

Des orifices d'entrée et de sortie pour les gaz sont figurés en *l* et *m*.

Enfin on voit en *n* une prise pour un manomètre.

Le courant est amené à la pièce en mouvement au moyen du frotteur *O*.

La longueur de l'arc, entre le charbon *d* et la pièce *e*, peut être maintenue constante au moyen de l'un des dispositifs couramment employés dans ce but pour les lampes à arc.

La pièce *e* chemine, avant son entrée et après sa sortie du four proprement dit, dans des tubes ou chambres appropriées *p* lui permettant d'être préparée à l'action du four, d'une part, par un séjour dans l'atmosphère spéciale qui y est créée, et de se refroidir, d'autre part, avant de traverser le presse-étoupe à la sortie.

Le fonctionnement de l'appareil est absolument continu, puisque l'on peut y faire succéder sans interruption les barres ou pièces à traiter.

La *fig.* 13 représente le cas où la pièce à chauffer est soumise à l'action d'un seul arc ; mais généralement le feu fonctionne avec deux arcs en série, la pièce à chauffer servant d'électrode commune aux deux arcs.

Dans le cas où il est désirable de faire passer dans le four des matières pulvérulentes, sus-

ceptibles ou non d'entrer en fusion, la pièce *c* peut être constituée par un tube en charbon, fermé aux deux extrémités et contenant la matière à traiter.

Ce cylindre se meut à travers le four de la manière déjà décrite.

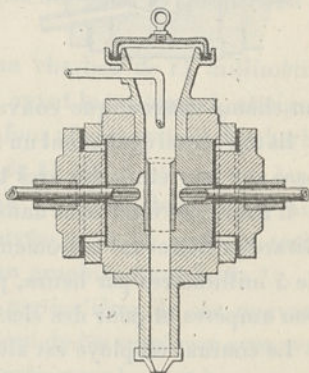
Au lieu de circuler avec un récipient ou creuset, la matière en traitement peut, au contraire, être mise en mouvement au sein de son enveloppe qui alors reste fixe.

Dans ce cas, MM. Girard et Street emploient la disposition représentée par la *fig. 14*, dans laquelle la chambre de chauffe est constituée par un charbon tubulaire qui sert à la fois de récipient et d'électrode pour l'arc.

Dans le cas où les matières, après leur passage dans la chambre de chauffe ou creuset sont susceptibles

de se présenter à l'état de fusion, MM. Girard et Street emploient le type de four repré-

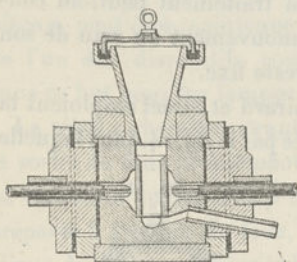
Fig. 14



senté par la *fig. 15* ; ce dispositif présente un orifice de coulée, aménagé de telle façon que, malgré cette ouverture, les gaz spéciaux peuvent être maintenus à l'intérieur du four.

Ces ingénieurs ont continué leurs travaux en imaginant un quatrième four où l'on peut

Fig. 15



répartir également l'arc électrique sur les matières en traitement.

Ils arrivent à ce résultat en faisant tourner l'arc à l'intérieur du four, et en déterminant dans cet appareil

un champ magnétique convenable.

Ils ont réussi également un four chauffe-creuset basé sur leur étude des arcs tournants.

L'usure des électrodes dans les différents fours Girard et Street est extrêmement faible ; elle est de 5 millimètres par heure, pour un courant de 300 ampères et pour des électrodes de 40^{mm}.

Le courant employé est alternatif, dans le cas du four à défilement des pièces à traiter entre deux électrodes fixes ; il est continu, dans les appareils à arcs tournants.

Pour une même intensité et une même vitesse de translation, la capacité de transformation du *charbon ordinaire* en *graphite* varie avec la matière traitée.

Un charbon fait avec du coke de cornue aggloméré au goudron est, après le traitement au four électrique, moins graphité qu'un charbon contenant 2 % de silice ou d'acide borique.

Du fer porphyrisé, mélangé au coke de cornue dans les mêmes proportions, donne un résultat analogue.

La conductibilité électrique des charbons ainsi traités augmente dans la proportion de 1 à 4.

La densité d'un charbon de 14 millimètres, qui était de 1,98 avant le traitement, atteignait 2,6 à la sortie du four ; la proportion du charbon en graphite était de 85 %.

La densité d'un autre charbon de 25 millimètres a été trouvée de 2,36 après le traitement, la teneur en graphite étant de 80 %.

Les propriétés particulières de ces nouveaux charbons permettent de les employer avec avantage comme électrodes pour lampes à arc, comme anodes dans les opérations électrolytiques, et comme balais collecteurs de courant de machines électriques.

Employés comme charbons négatifs dans les lampes à arc, ils présentent, toutes choses égales d'ailleurs, une usure moitié moins grande que celle des charbons ordinaires.

Employés comme anodes, ces charbons se comportent d'une manière tout à fait remarquable, tant dans l'électrolyse par voie humide que dans l'électrolyse par voie ignée.

On pourra calculer aisément le coût de leur transformation, en se basant sur une dépense en énergie électrique équivalente à dix chevaux-heure environ pour le traitement d'un kilogramme de matières.

TROISIÈME PARTIE

—

LES FOURS ÉLECTRIQUES ET LEURS APPLICATIONS

Historique. — On donne généralement le nom de *fours électriques* aux appareils employés en électro-métallurgie par voie sèche.

On les divise en deux classes, suivant la nature du phénomène électrique considéré.

Dans la *première classe* sont compris les fours appliqués à l'électrolyse par fusion ignée, dont les prototypes sont ceux qui ont été imaginés pour produire l'aluminium ⁽¹⁾.

(1) AD. MINET. — *L'Électro métallurgie; voie humide et voie sèche*. Gauthier-Villars et fils, quai des Grands-Augustins, 55; Masson et C^{ie}, boulevard Saint-Germain, 120, éditeurs.

FOURS ÉLECTRIQUES

LISTE DES BREVETS D'INVENTION

Années	Inventeurs	Pays
1879	Siemens	Patente anglaise
1880	Clerc	Brevet français
1885	Cowles	Patente anglaise
1886	Menges	Brevet français
1886	Cowles	Patente anglaise
1886	Cowles	// //
1886	Héroult	Brevet français
1886	Grabau	// //
1887	Rogerson, Statler et Stevenson	// //
1887	Minet	Br. fr. (Bernard frères)
1887	De Ferranti	Patente anglaise
1887	Cowles	// //
1887	Cross	// //
1888	Gérard-Lecuyer	Brevet français
1888	Reuleaux	// //
1888	Hobbs	Patente anglaise
1888	Crompton	// //
1888	Readman	// //
1889	Taussig	Brevet français
1889	Kiliani	Patente anglaise
1889	Parker	// //
1890	Colby	// //
1890	Willson	// //
1890	Taussig	// //
1890	Schneller et Astfalck	// //
1890	Dewey	// //
1891	Butterfield Mitchell	Brevet français

FOURS ÉLECTRIQUES

LISTE DES BREVETS D'INVENTION (*suite*)

Années	Inventeurs	Pays
1891	Willson	Patente anglaise
1891	Taussig	// //
1891	Niewerth	// //
1891	Parker	// //
1891	Parker	// //
1892	Von Poschinger	Brevet français
1892	Kreinsen	// //
1892	Zerener	// //
1892	De Laval	Patente anglaise
1892	Willson	// //
1892	Niewerth	// //
1893	<i>Société américaine Electric Heating C^o</i>	Brevet français
1893	Girard et Street	// //
1893	Chaplet	// //
1893	Crompton	Patente anglaise
1893	Mitchell	// //
1893	Kreinsen	// //
1894	Girard et Street	Brevet français
1895	Vincent, Lori, Pietet	// //
1896		

Ils sont caractérisés par ce fait qu'ils peuvent être employés, sans modification sensible, pour toutes les réactions du domaine de l'électro-métallurgie.

La *seconde classe* comprend les fours appliqués plus spécialement aux phénomènes électrothermiques.

Depuis les fours de Siemens (1879), qui fixent la date des premières applications de l'électrometallurgie, jusqu'à ce jour, un grand nombre de types de fours ont été proposés.

Nous avons pensé intéresser le lecteur en énumérant les principaux brevets concernant les fours électriques, mais il ne faut pas considérer cette liste comme constituant un historique fidèle de la question.

Chose importante à signaler, les fours qui ont reçu jusqu'à ce jour les plus grandes applications, comme ceux de M. Héroult et de l'auteur du présent ouvrage, n'ont pas fait l'objet d'un brevet ; ils n'ont été qu'indiqués, plus ou moins vaguement, dans la description des procédés de fabrication électrolytique de l'aluminium.

Il est vrai qu'ils ont été souvent décrits à une époque peu éloignée de leur mise en pratique.

Le four imaginé par moi, indiqué sur la liste à la date de 1887, et dont le brevet a été pris aux noms de MM. Bernard frères, n'était pas destiné à la fabrication de l'aluminium ; et il n'a reçu que peu d'application.

Mais cette liste indique les différentes phases par lesquelles a passé l'électro-métallurgie. Après les tentatives de Siemens (1879) et de Clerc (1880), se rapportant, les premières à la *fusion* des métaux, les secondes à la fusion de la chaux, on constate un intervalle de six années.

Avec les recherches de Cowles commencent les premières applications de l'électricité à la réduction des oxydes, du domaine des phénomènes électro-thermiques.

Les expériences de Cowles, qui ont fait beaucoup de bruit en leur temps, n'ont donné que peu de résultats relativement à la fabrication des métaux purs ; cet ingénieur obtint seulement des alliages de ferro-aluminium et de cupro-aluminium où les proportions de ce dernier métal n'excédaient guère 20 à 25 % de la masse totale.

Héroult obtient en France, en 1886-1887, des résultats semblables à ceux de Cowles.

Le commencement de l'année 1887 est marqué par les premiers résultats de production électrolytique de l'aluminium, que j'ai eu la bonne fortune de réaliser, bientôt suivis par ceux d'Héroult et de Hall.

Dès lors, les applications de l'électrolyse par

fusion ignée se multiplient et le four électrique se perfectionne. Grabau pour le sodium, Grætzl pour le magnésium, Borchers pour le sodium, Haller et Guntz pour le lithium, imaginent des appareils très caractéristiques.

En 1893, MM. Girard et Street construisent un four, de dispositions nouvelles et très particulières, pour la transformation du charbon ordinaire en graphite qui est décrite plus haut.

Enfin, M. Moissan, par ses recherches sur la réduction des oxydes alcalino-terreux à haute température, donne naissance à une nouvelle classe de composés qui, jusqu'à ce moment, étaient mal définis et peu connus : les carbures métalliques.

Les travaux de M. Moissan étendent les limites de l'électro-métallurgie et donnent une nouvelle impulsion aux applications de cette science, pour lesquelles la France se trouve dans des conditions particulièrement favorables, en raison des forces naturelles, nombreuses et puissantes, dont elle dispose.

Fours Siemens. — La *fig. 16* représente le premier four construit en 1879, par Siemens,

destiné à la fusion des métaux, et dont il a été déjà parlé dans notre précédent ouvrage sur l'électro-métallurgie ; on trouvera aussi dans ce volume les résultats des expériences entreprises par ce savant à cette époque.

Les *fig. 17* et *18* reproduisent deux autres types du four Siemens, bien différents du premier, qui furent présentés à l'exposition internationale d'électricité de Paris en 1881.

Fig. 16

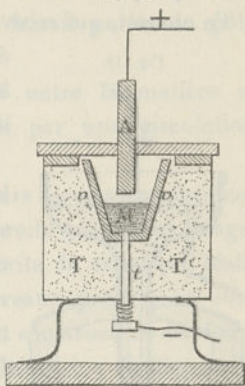
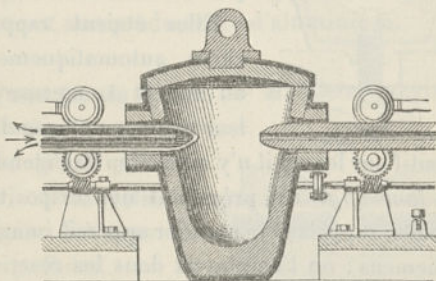


Fig. 17

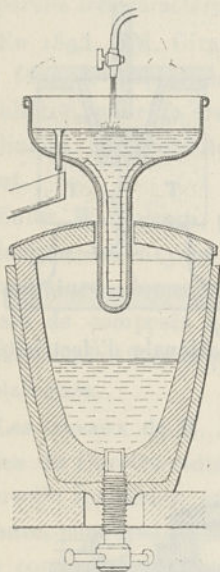


L'appareil représenté par la *fig. 17* était com-

posé d'un creuset en charbon chauffé par un arc électrique jaillissant à l'intérieur.

Ce creuset, qui recevait la matière à chauffer,

Fig. 18



était percé de deux trous, à travers lesquels passaient les électrodes.

Un couvercle en charbon isolait de l'atmosphère la chambre de réaction.

Les électrodes étaient toutes deux en charbon ou formées d'une baguette de charbon, au pôle positif, et au pôle négatif d'une pièce métallique refroidie par une circulation d'eau.

Elles étaient rapprochées automatiquement, au fur et à mesure de leur usure, au moyen d'un

dispositif sur lequel il n'y a pas lieu de s'étendre.

Le four (*fig. 18*) présentait une disposition différente, rappelant le premier appareil imaginé par Siemens ; on l'employait dans les réactions où les matières introduites dans le creuset étaient bonnes conductrices de l'électricité.

Le courant était amené au fond du creuset par une vis en platine et transmis à la matière conductrice, qui, de ce fait, faisait partie du pôle positif.

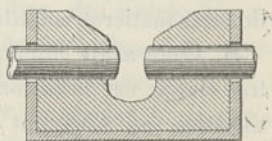
Un arc se produisait entre la matière et le pôle négatif, refroidi par une circulation d'eau.

On peut dire que les fours Siemens renferment en eux le germe des appareils qui furent imaginés ensuite ; aussi le mérite de ceux qui réalisèrent plus tard de nouveaux progrès en électro-métallurgie et dans la construction des fours est marqué moins par l'invention de dispositifs différents de ceux indiqués par Siemens, que par l'établissement de fours robustes, capables de résister à de hautes températures pendant une longue durée, et ce mérite appartient incontestablement aux producteurs d'aluminium.

Four Louis Clerc. — M. Clerc imagina en 1880 une lampe à arc, d'un genre particulier, à laquelle il donna le nom de lampe Soleil.

Cet appareil (*fig.* 19) était composé d'un bloc de magnésie ou de

Fig. 19



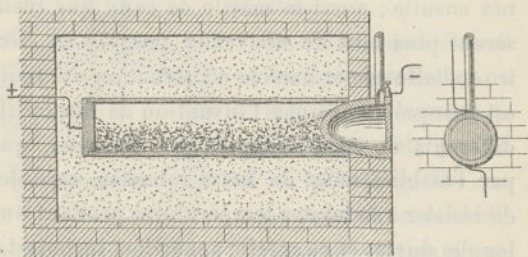
carbonate de chaux, présentant une cavité au sein de laquelle jaillissait un arc.

Les électrodes étaient formées de deux baguettes de charbon d'un diamètre de 20 millimètres.

Dans cet appareil, l'inventeur a volatilisé la silice et la chaux.

M. Street a rappelé que M. Clerc répétait pu-

Fig. 20



bliquement ces expériences de volatilisation devant les visiteurs de l'Exposition, et qu'il avait remis à M. Daubrée des spécimens très curieux de chaux cristallisée, produits de la condensation des matières volatilisées dans son four.

M. Clerc avait obtenu ainsi une température très élevée, car la fusion de la chaux et sa volatilisation ne s'opèrent qu'à des températures supérieures à 2 500°.

Fours Cowles. — MM. Eugène et Alfred Cowles imaginèrent plusieurs fours qui tous furent appliqués successivement à la réduction des oxydes.

Le premier en date est représenté par la *fig. 20*, et a fait l'objet d'un brevet pris en 1885.

Dans ce four, la chaleur est produite en portant à l'incandescence, au moyen du courant électrique, les matières à traiter, préalablement pulvérisées et mélangées à du charbon de cornue en poudre.

Les premiers appareils construits par les frères Cowles étaient destinés à la réduction de minerais de zinc ; ils furent appliqués ensuite à la réduction d'autres minerais, particulièrement ceux d'aluminium, magnésium, bore, etc.

Ils se composaient d'un cylindre fait de silice ou de toute autre matière non conductrice de l'électricité.

Ce cylindre était entouré de charbon de bois en poudre ou de toute autre matière mauvaise conductrice de la chaleur. Une des extrémités de la cornue est fermée par une plaque de charbon qui constitue l'électrode positive.

L'autre est formée par un creuset en graphite constituant l'électrode négative.

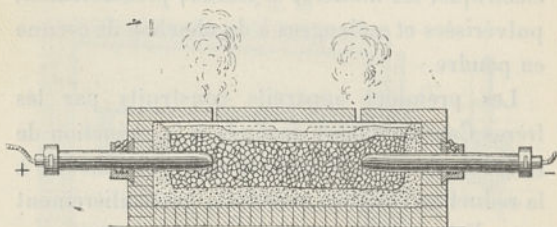
Ce creuset, en même temps qu'il sert d'élec-

trode négative, constitue une fermeture étanche pour la cornue et une chambre de condensation pour les vapeurs de zinc.

La charge, mélange de minerais et de charbon, est introduite par l'ouverture que laisse le creuset.

L'appareil breveté en 1886 par les frères Cowles est encore un four à incandescence

Fig. 21



(fig. 21), constitué par une caisse en maçonnerie de forme parallépipédique.

Les matières à traiter reposent sur une couche de matières isolantes.

Les électrodes sont constituées par deux baguettes de charbon, noyées dans ces matières mêmes, et qui sont très rapprochées au début de l'opération, au point de se toucher.

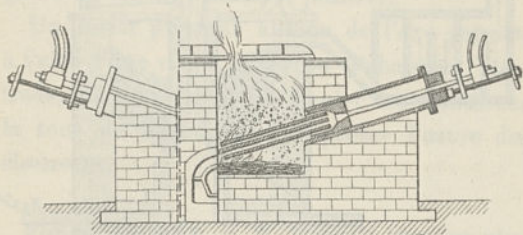
Lorsque le courant passe, les parties avoisinant les extrémités des électrodes sont portées à l'incandescence et les charbons sont écartés len-

tement, jusqu'à ce qu'ils occupent la position indiquée par la figure.

A la mise en route, la distance des électrodes, immédiatement après leur séparation, est de 25 millimètres; à la fin de l'opération elle atteint 1^m,20.

La même année, MM. Cowles prirent un autre brevet pour la revendication d'un four (*fig. 22*),

Fig. 22



où les électrodes occupent une position différente; de plus, dans ce nouveau four, les frères Cowles pouvaient suivre sans difficulté la marche de la réaction, en ce qui concerne l'écart variable à donner aux électrodes.

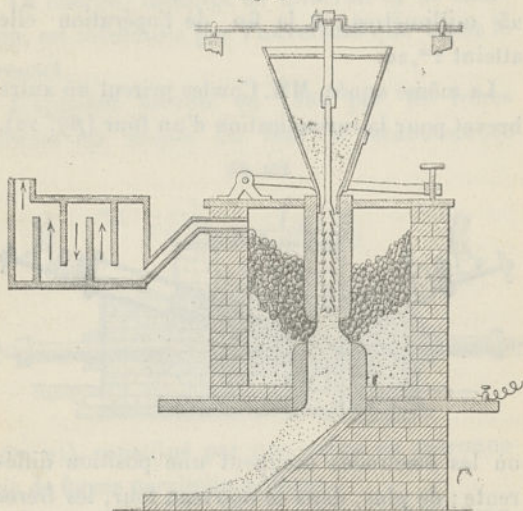
En 1887, MM. Cowles prirent un nouveau brevet pour un four électrique, dans lequel la charge était introduite d'une manière continue.

L'électrode (*fig. 23*) est constituée par un

tube en charbon fixé à la base d'une trémie d'alimentation.

L'électrode négative, en charbon de forme

Fig. 23



tubulaire, est fixée à la plaque, montée à la partie inférieure du four.

Les parois du four sont en briques réfractaires et en briques de silice.

Un remplissage de charbon de bois ou de chaux et charbon mélangés, entoure l'électrode négative et l'isole électriquement et calorifiquement.

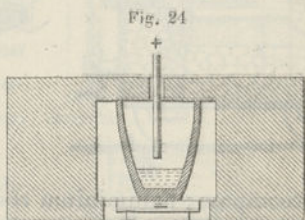
Un remplissage analogue au précédent, entoure la zone de fusion entre deux électrodes.

Le grain de ce remplissage est plus gros, afin de permettre aux gaz qui accompagnent les réactions de s'échapper par le tube qui les amène au condenseur.

La partie supérieure du four est fermée par une plaque munie d'un orifice à travers lequel glisse librement l'électrode positive.

Un levier pivotant autour de l'axe permet, à l'aide d'une vis, d'élever ou d'abaisser l'électrode, de manière à augmenter ou diminuer la zone de fusion, ou compenser l'usure des électrodes.

Fours Hérault. — M. Hérault imagina plusieurs types de fours, tous basés sur le même principe : une cuve cathode et, isolée au centre, une anode en charbon.



La *fig. 24* reproduit le premier appareil appliqué par cet ingénieur à la réduction de l'alumine par le cuivre; on verse dans le creuset en charbon

du cuivre en granules ; on abaisse l'anode au contact de ce cuivre et l'on fait passer le courant électrique ; le métal fond.

On verse alors de l'alumine, renfermant quelques petites proportions de cryolithe, qui se

Fig. 25

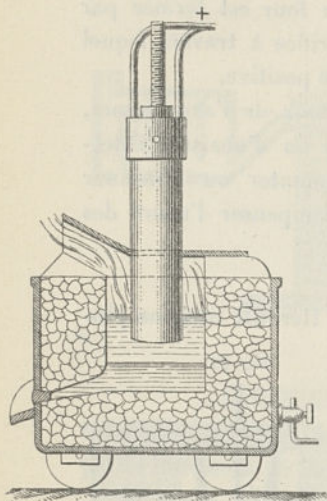
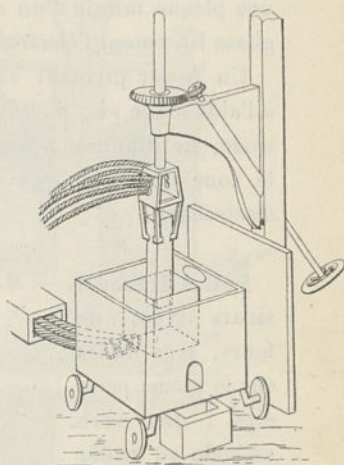


Fig. 26



décompose ; l'aluminium résultant de cette réaction forme avec le cuivre un alliage.

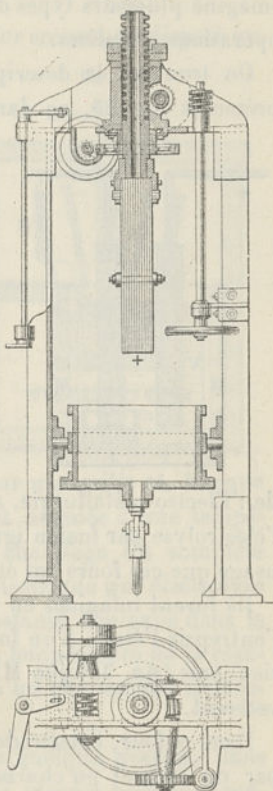
M. Héroult a donné plusieurs formes à ses fours (*fig.* 25 et 26) avec lesquels il a obtenu l'aluminium pur et d'autres alliages d'alumi-

nium, tels que le ferro-aluminium, et le carbure de calcium.

Fig. 27

Four Kiliani. —
En 1889, M. Kiliani brevetait un dispositif (*fig. 27*) qui permet de donner à l'anode un mouvement d'oscillation de pendule, ou un mouvement circulaire, dans le but d'éviter la formation de croûtes solides à la surface du bain en fusion, croûtes qui empêchent l'addition de matières nouvelles dans le creuset.

Ce four fut appliqué à la fabrication électrolytique de l'aluminium pur par le procédé Héroult.



Fours Minet. — Dans le cours de mes recherches sur l'électrolyse par fusion ignée, j'ai imaginé plusieurs types de fours, appropriés aux opérations à réaliser.

On trouvera la description des appareils représentés *fig. 28, 29* dans l'ouvrage qui traite

Fig. 28

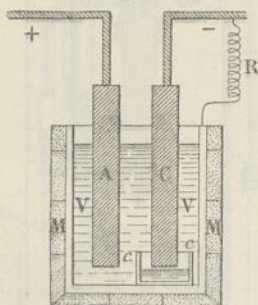
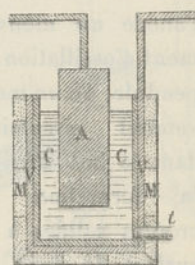


Fig. 29



de l'Électro-métallurgie, au chapitre consacré à l'électrolyse par fusion ignée ; car, c'est pour cet usage que ces fours ont été combinés.

Ils furent imaginés en 1887. La même année, j'entrepris l'étude d'un four de dispositions particulières (*fig. 30*) que MM. Bernard frères brevêtèrent.

Dans ce four, l'électrode positive est constituée par un creuset en charbon qui reçoit les matières à traiter.

Ce creuset est disposé à l'intérieur d'un se-

cond creuset en matière réfractaire, et repose sur un fromage en charbon relié au pôle positif de la source d'électricité.

Vers la base du premier creuset est disposé un trou de coulée, d'où sont extraits les produits de la réaction.

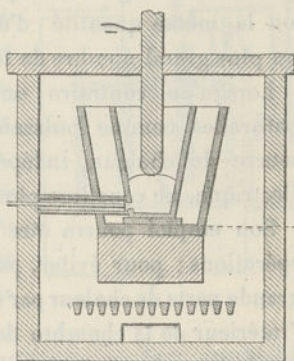
Une électrode en charbon est reliée au pôle négatif de la source d'électricité.

Les creusets sont, en premier lieu, chauffés au moyen

du combustible brûlé sur une grille et, lorsque la matière à traiter est amenée à une température convenable, le chauffage est complété au moyen du courant électrique qui électrolyse en même temps la substance contenue dans le creuset, ou la porte à la température de la réaction, si l'on a affaire à un phénomène électrothermique.

Ce dispositif présente quelque avantage dans le cas où l'on ne dispose comme puissance mécanique que de machines à vapeur ; il est clair,

Fig. 30



en effet, que les calories fournies à la chambre de réaction par le combustible disposé autour du creuset coûteront moins cher que celles qu'apporteront le courant ; de ce fait, une notable quantité d'énergie électrique sera économisée, ou la même quantité d'énergie entretiendra un plus grand nombre de fours.

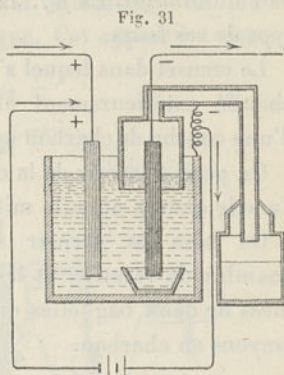
Lorsqu'au contraire on dispose de forces naturelles comme puissance mécanique, une source de chaleur, indépendante du système électrique, ne constitue plus une économie.

Son emploi pourra être utile dans certaines opérations ; pour éviter, par exemple, une trop grande perte de chaleur par rayonnement lorsque l'intérieur de la chambre de réaction devra être portée à une haute température.

Dans le cours de la description de ce four, je revendiquais également l'emploi d'électrodes en charbon creuses, permettant d'introduire, au centre du creuset, des gaz réducteurs ou propres à aider à la réaction cherchée, ou bien encore les matières elles-mêmes, soit en poudre, soit sous la forme de crayon.

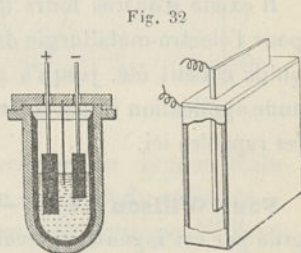
J'ai fait quelques essais avec ce four sur la fusion des métaux, de l'acier en particulier, dans le courant de l'année 1891, au Conservatoire des Arts et Métiers.

Dans ces expériences, la source complémentaire de chaleur était supprimée ; le creuset en charbon, ou en terre réfractaire, ne servait plus que de chambre de réaction, et les électrodes étaient constituées par deux tiges en charbon, munies d'un dispositif qui permettait de leur donner toutes les positions possibles.



La *fig.* 31 représente un four semblable à celui que M. Grabau a employé dans l'électro-métallurgie du sodium et que je destinai, vers la fin de 1890, à l'électro-métallurgie des métaux alcalins et alcalino-terreux.

Ce four n'a reçu, jusqu'à ce jour, aucune application suivie.



Fours Hall. — Hall a imaginé plusieurs appareils qu'il a appliqués à l'électro-métallurgie de l'aluminium. La *fig.* 32 reproduit le premier type de ces fours.

Le creuset dans lequel s'opère l'électrolyse est chauffé extérieurement et garni, à l'intérieur, d'une couche de charbon aggloméré.

On peut se servir de la cuve comme cathode ; l'anode occupe alors le milieu du creuset.

Ou bien ce dernier sert uniquement de chambre de réaction et les électrodes sont formées de deux baguettes ou de deux groupes de crayons en charbon.

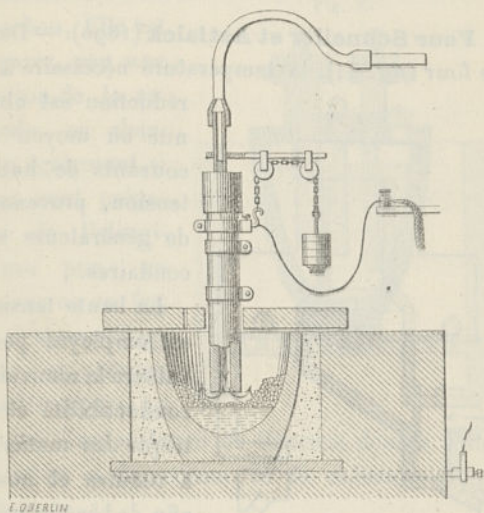
FOURS ÉLECTRIQUES APPLIQUÉS A L'ÉLECTRO-MÉTALLURGIE DE L'ALUMINIUM

Il existe d'autres fours qui ont été proposés pour l'électro-métallurgie de l'aluminium ; bien qu'ils n'aient été, jusqu'à présent, l'objet d'aucune application importante, il est intéressant de les rappeler ici.

Four Willson (1890). — Le dispositif, imaginé par cet ingénieur, avait pour but de diminuer l'usure de l'anode dans les fours électriques mixtes, à action calorifique et électrolytique.

L'anode (fig. 33) est constituée par un tube de charbon, à l'intérieur duquel est envoyé un jet d'hydrogène, de gaz d'éclairage ou d'un hydrocarbure quelconque. Cet appareil a servi

Fig. 33



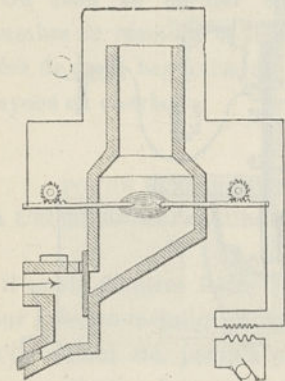
principalement à fabriquer du bronze d'aluminium, au moyen du cuivre et du corindon.

Il est à remarquer que l'idée émise par Willson, en 1890, avait été développée par moi en 1887. Je n'attache du reste aucune importance à cette

revendication et, si j'en parle, c'est surtout parce que, dans nombre d'ouvrages parus récemment, on passe systématiquement sous silence les premiers fours, pour s'étendre longuement sur les derniers venus qui en dérivent souvent.

Four Schneller et Astfalck (1890). — Dans ce four (*fig. 34*), la température nécessaire à la

Fig. 34



réduction est obtenue au moyen de courants de haute tension, provenant de générateurs secondaires.

La haute tension est employée pour vaincre la mauvaise conductibilité électrique des matières à réduire et aussi afin de bénéficier de

l'avantage résultant d'une grande surface offerte aux gaz devant opérer la réaction.

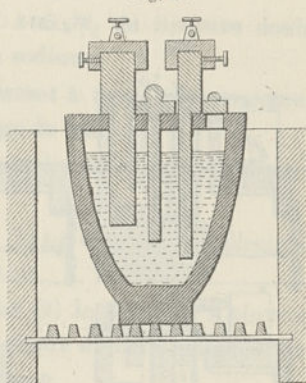
Cette réduction est obtenue par l'hydrogène ou un hydrocarbure convenable, introduits à l'intérieur du four.

La charge est constituée, soit par de l'alumine,

soit par du sulfure, du chlorure ou du fluorure d'aluminium.

Four Diehl. — La *fig. 35* représente le creuset employé de préférence par M. Diehl. L'anode est en charbon. Elle est séparée par une cloison de la cathode, en charbon également, si l'on veut préparer de l'aluminium pur ; en cuivre ou en fer, si c'est un alliage que l'on prépare.

Fig. 35



L'électrolyte est formé d'un mélange de fluorure double d'aluminium et de sodium, et de chlorure de sodium.

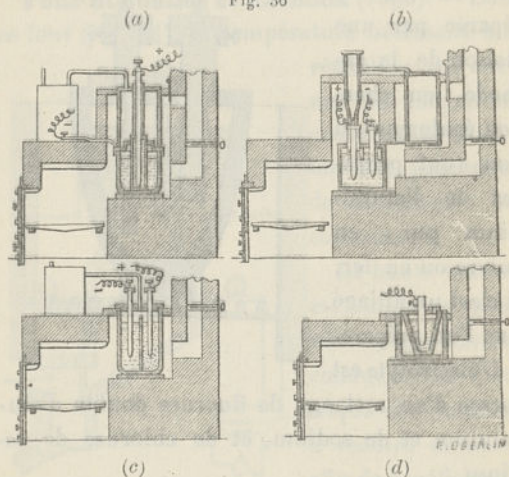
Four Douglas-Dixon. — L'appareil électrolytique de M. Douglas-Dixon est constitué essentiellement par un creuset de plombagine (*fig. 36*) chauffé par une grille, et surmonté d'une sorte de cornue.

La disposition des électrodes n'est pas toujours la même.

Toutes les combinaisons imaginées par M. Douglas-Dixon sont, du reste, reproduites dans les quatre croquis de la *fig. 36(a),(b),(c),(d)*.

Avec la disposition (a), l'électrode positive ou

Fig. 36



anode traverse la cornue, tandis que le creuset sert de cathode. La cornue renferme un mélange d'alumine, de charbon et de chlorure de sodium. Elle communique par le haut avec un condenseur qui reçoit l'oxyde de carbone et les chlorures provenant de la réaction.

Le mélange introduit dans le creuset est formé de :

Chlorure de magnésium	35 parties
Chlorure de potassium	25 //
Chlorure de sodium	40 //

On y ajoute 3 à 5 % de fluorure double d'aluminium et de sodium.

On chauffe le creuset à 800°, pour maintenir en fusion le mélange de sels.

La force électromotrice du courant ne dépasse guère 6 à 8 volts.

Dans la variante (b) on emploie une électrode négative indépendante.

Avec la disposition (c) le mélange d'alumine et de charbon n'est séparé du bain réducteur que par une cloison poreuse.

L'appareil (d) permet de réduire l'alumine avec une méthode différente des précédentes. Le creuset renferme un bain fondu, composé de 95 parties de chlorure de magnésium, pour 75 de chlorure de potassium, avec 6 à 7 % de fluorure comme fondant; la cornue renferme l'alumine qui est réduite par le magnésium dégagé au creuset cathode.

L'aluminium tombe au fond de la cornue

tandis que la magnésie MgO reforme au creuset le chlorure de magnésium.

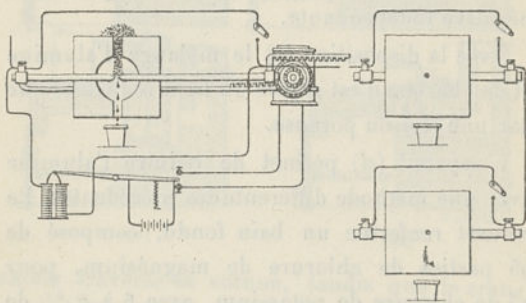
Les réactions se produiraient ainsi d'une manière continue.

Fours Farmer. — M. G. Farmer produit directement l'aluminium pur au moyen de l'arc électrique.

Pour y arriver, il fait jaillir l'arc au milieu d'un creuset réfractaire, entre deux crayons.

Ces crayons ont de 10 à 15 millimètres de diamètre ; ils sont formés d'une pâte composée

Fig. 37



par moitié : 1° de charbon ; 2° de corindon ou d'émeri ; le tout est agglutiné avec du sucre ou des résidus de pétrole.

Le creuset reçoit par une tuyère (*fig. 37*) un

jet d'air et de gaz d'éclairage, de vapeur de pétrole, de vapeur d'eau ou de zinc volatilisé.

D'après Farmer, ce jeta a une action réductrice qui facilite l'opération ; il augmente, en outre, la température du creuset et y fait intervenir, en temps utile, les phénomènes de dissociation.

Un solénoïde en dérivation sur le circuit principal maintient l'arc au centre du creuset.

En effet, l'armature du solénoïde s'abaisse malgré un ressort, dès que la résistance augmente, et met ainsi dans le circuit de la pile la dynamo.

Les charbons sont ainsi rapprochés à la distance voulue par un mécanisme indiqué sur la figure et facile à comprendre.

Les gaz de la réduction s'échappent par l'évent, tandis que l'aluminium presque pur s'écoule par le trou de coulée.

L'avantage du procédé Farmer serait de fonctionner indifféremment avec des courants continus ou alternatifs.

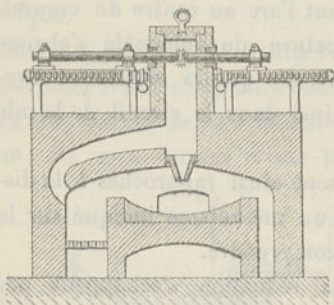
Four Gérard-Lécuyer. — La *fig.* 38 donne le détail de l'appareil employé par M. Gérard-Lécuyer. L'arc jaillit entre deux électrodes faciles à remplacer, et formées de crayons composés d'un aggloméré de cinquante parties d'alu-

mine calcinée, quatre-vingts de charbon en poudre, et cent de poussière de cuivre agglutinée par l'addition d'un peu de résine ou de goudron.

Un train de vis sans fin permet de faire avancer ces électrodes, à mesure qu'elles s'usent.

Le bronze d'aluminium ainsi produit tombe

Fig. 38



sur la sole d'un four à réverbère, garnie d'un peu de chaux, pour en faciliter la fusion, et chauffée en partie par la combustion de l'oxyde de carbone

amené de l'arc par une conduite latérale.

On obtient ainsi une masse métallique renfermant 20 % environ d'aluminium.

C'est de cette masse que l'on part pour fabriquer l'aluminium, en la pulvérisant et en lui faisant remplacer, dans la préparation de nouvelles électrodes, les cent parties de cuivre des électrodes primitives.

On arriverait ainsi, après quelques substitutions, à un métal presque pur.

Fours Borchers et Willson.— Ces appareils ressemblent au four Héroult et n'ont du reste reçu aucune application importante, du moins dans l'électro-métallurgie de l'aluminium.

FOURS APPLIQUÉS

A L'ÉLECTRO-MÉTALLURGIE DES MÉTAUX ALCALINS ET ALCALINO-TERREUX

Nous nous sommes étendus longuement sur la description des fours les plus importants, dans notre ouvrage sur l'électro-métallurgie, comme ceux de Grabau, Borchers et Vautin pour le sodium ; Liebig, Fischer, Grætzl, Borchers pour le magnésium ; Troost, Hiller, pour le lithium ; Moissan, pour les carbures métalliques ; nous n'avons donc pas à y revenir.

FOURS APPLIQUÉS A LA FUSION ET A LA RÉDUCTION DES MINÉRAIS

Les fours Farmer, Gérard-Lécuyer, décrits plus haut, ainsi que les fours Siemens, Cowles et Héroult, font partie de cette catégorie d'appa-

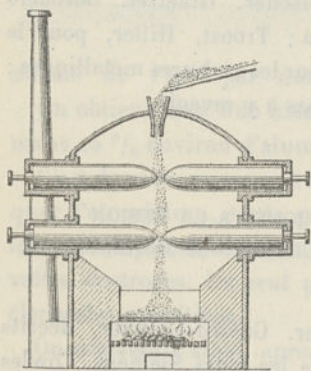
reils ; il en existe qui présentent des dispositions différentes et assez intéressantes.

Four Johnson. — Ce four date du 22 mars 1853, mais ne paraît pas avoir jamais été appliqué. Il présente de grandes analogies avec le four Cowles de 1887.

Les deux électrodes sont disposées en face l'une de l'autre, sous un certain angle ; l'électrode supérieure est creuse ; elle est remplie avec le minerai à réduire, qui est refoulé peu à peu par en bas au moyen d'une hélice.

Four Pichon. — Cet appareil qui date aussi

Fig. 39



de l'année 1853 est représenté par la *fig.* 39. Il est composé de deux paires d'électrodes, entre les extrémités desquelles jaillissent deux arcs. Le minerai finement pulvérisé tombe d'abord

d'un plan incliné dans un entonnoir, et de là se

déverse sur une sole chauffée par un foyer, en traversant les arcs. Nous ne croyons pas que ce procédé puisse être jamais appliqué économiquement, et si nous avons rappelé le four Pichon c'est dans un intérêt purement historique. Bien que cet appareil, comme celui de Johnson, soit antérieur à ceux de Siemens, nous ne pensons pas, étant donné qu'ils n'ont jamais été mis en pratique, qu'ils diminuent le mérite, reconnu à Siemens, d'avoir le premier établi un four électrique à haute température pouvant entrer réellement en service.

Four Menges (1886). — Cet appareil (*fig. 40*) figure assez exactement une lampe à arc, dont l'électrode inférieure fixe serait adaptée au fond du creuset, façonné d'une matière conductrice de l'électricité.

L'électrode supérieure passe à travers le couvercle du creuset et se trouve maintenue, à l'aide d'un mécanisme, à une distance convenable de la première.

Cette électrode est formée d'un mélange de charbon, bon conducteur de l'électricité, et de l'oxyde à réduire.

Tout l'appareil peut être suspendu dans une

chaudière hermétiquement fermée, où l'on peut opérer la fusion sous pression.

Four Kleiner-Viertz (1886). — Appliqué plus particulièrement à l'électro-métallurgie de

Fig. 40

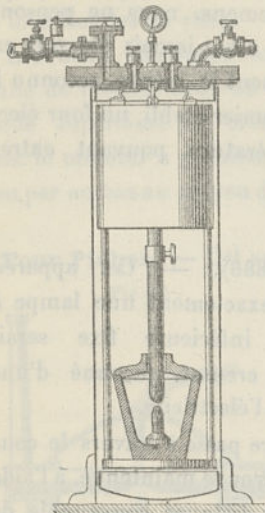
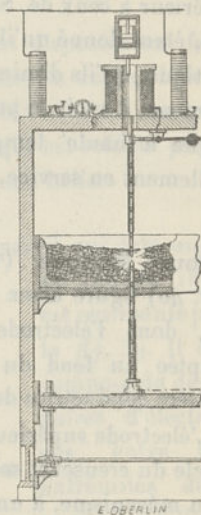


Fig. 41



l'aluminium (*fig. 41*), cet appareil est ainsi composé :

Les électrodes plongent dans un réservoir rempli de cryolithe et revêtu de bauxite et d'argile.

Elles sont mobiles ; mais l'électrode inférieure ne se meut qu'à la main, tandis que la position de l'électrode supérieure est réglée par un levier équilibré et un solénoïde.

Les mouvements de ce dernier sont limités et enrayés par un piston adapté au sommet de l'appareil et plongeant dans un liquide.

Le procédé Kleiner-Viertz n'a reçu qu'un commencement d'application. Il n'est du reste pas d'un rendement économique.

APPLICATIONS DIVERSES

Fours Rogerson-Statter et Stevenson (1886). — Ces ingénieurs ont pris un brevet ayant pour objet l'application des attractions et répulsions électro-magnétiques, de façon à modifier le cheminement de l'arc électrique lorsque ce dernier est employé pour produire la chaleur dans un four.

Dans ce brevet, l'attraction ou la répulsion est produite au moyen d'un aimant, d'un électro-aimant, ou d'un solénoïde.

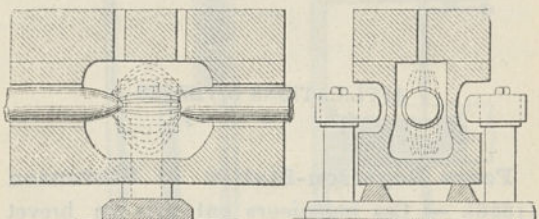
Une des dispositions employées est représentée (*fig. 42*). De chaque côté du four sont les deux

pôles d'un électro-aimant. Les épanouissements polaires sont mobiles, pour permettre de faire varier l'entre-fer.

Four Readmann (1888). — Appliqué à la fabrication du phosphore, cet appareil rappelle, comme disposition générale, le four Cowles, de 1886.

Il est formé par une construction en matières

Fig. 42



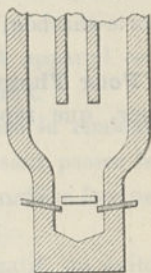
réfractaires. La chambre de chauffe reçoit deux électrodes qui déterminent un arc au-dessus ou dans le voisinage de la matière d'où le phosphore doit être extrait.

Four Rouleaux (1888). — Cet appareil est présenté par l'inventeur comme un cubilot électrique. Il se compose d'une maçonnerie circulaire (*fig. 43*) divisée en trois compartiments vers la partie supérieure.

Ces trois compartiments débouchent dans une chambre de chauffe commune, dans laquelle se trouvent des séries d'électrodes.

Des tuyères permettent de chauffer la matière, avant son arrivée dans la zone d'action de l'arc électrique jaillissant entre les électrodes.

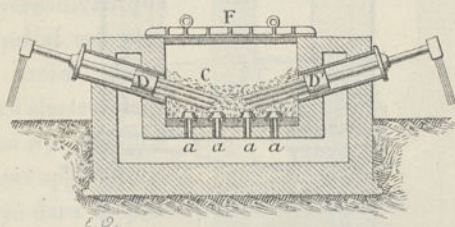
Fig. 43



Four Crompton. (1888) —

Cet appareil (*fig. 44*) est un four mixte dans lequel la chaleur est produite au moyen de l'électricité et d'autres sources, dans le but

Fig. 44

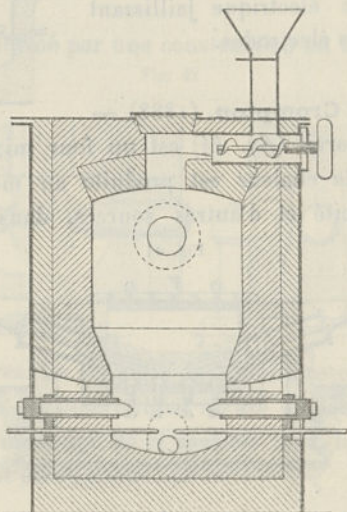


d'élever la température des matières à traiter à un point convenable, avant de faire intervenir le courant électrique ; *a, a, a, a*, sont des brûleurs, à travers lesquels les gaz combustibles sont introduits dans l'intérieur du four.

D et D' sont les électrodes constituées par des faisceaux de charbons montés dans un même porte-charbon.

Four Thomas Parker (1889). — Dans ce four, que représente la *fig. 45*, le chauffage

Fig. 45



est obtenu par des séries d'électrodes placées en regard les unes des autres.

Au commencement de l'expérience, les électrodes sont mises en contact, et les matières à traiter introduites dans la chambre de réaction.

Les électrodes sont écartées ensuite, puis rapprochées au fur et à mesure de leur usure.

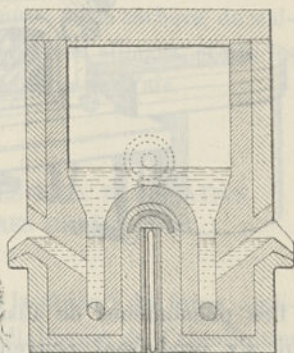
Four de Laval (1892). — Cet appareil est destiné à opérer la fusion des métaux.

La méthode consiste à produire la chaleur nécessaire pour la fusion, en faisant passer le courant à travers une couche de matière fondue de faible conductibilité.

Le courant employé étant alternatif, on évite ainsi les phénomènes d'électrolyse.

Deux dispositions sont employées suivant que le métal est plus ou moins dense que l'électrolyte.

La *fig. 46* représente l'appareil employé dans le premier cas.



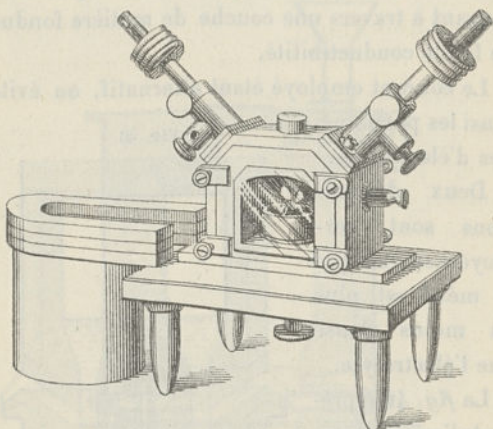
La capacité intérieure du four est divisée vers sa base par un pont en matières réfractaires.

Les électrodes occupent la partie inférieure du four, et le circuit se ferme par l'électrolyte, en passant par dessus l'autel.

Le métal à fondre est introduit par une ouverture et s'écoule par les trous de coulée. L'électrolyte en excès se déverse par un trop plein.

Four Ducretet. — Cet appareil (*fig. 47*) est destiné aux recherches et essais de laboratoire.

Fig. 47



Les phénomènes de fusion et de réduction qui s'y produisent peuvent être directement observés, les parois de ce four étant à *fermetures mobiles* garnies de mica.

Ils peuvent même être *projetés*, ainsi que M. Troost l'a démontré en réalisant ses expériences sur le zirconium et le thorium.

Le petit modèle de laboratoire, avec un courant de 12 à 30 ampères et 55 à 70 volts aux bornes, permet d'obtenir la réduction d'oxyde et la fusion des métaux les plus réfractaires, en quantité suffisante pour leur analyse spectrale et chimique.

Four Heibling. — Ce four est encore une variété du four employé par les fabricants d'aluminium ; son inventeur l'applique à la production simultanée d'alliages métalliques : ferro-chrome, ferro-manganèse, et de carbure de calcium qui sert de laitier à ces alliages, et qui les protège ainsi de l'oxydation par l'air.

FOURS APPLIQUÉS A LA FABRICATION DES CARBURES MÉTALLIQUES

Nous avons dit que la plupart des fours appliqués à la l'électro-métallurgie de l'aluminium peuvent être employés dans la fabrication du carbure de calcium.

Il en a été créé cependant un certain nombre dans ces dernières années, spécialement destinés à la production des carbures métalliques.

Four Borchers. — La description de cet appareil a été publiée dans la première édition de l'ouvrage de ce savant sur l'électro-métallurgie, paru en 1891.

Nous la retrouvons dans l'édition française de cette publication, parue en 1896.

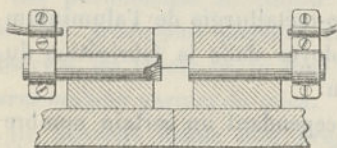
M. Borchers y annonce qu'avec ce four, il avait réussi, dès 1880, à réduire par le carbone, chauffé au moyen de l'électricité, tous les oxydes métalliques regardés jusqu'alors comme irréductibles.

Nous ne doutons pas du fait avancé par le savant Allemand, mais nous pouvons affirmer qu'il n'avait point réussi, à cette époque, à produire des carbures métalliques bien définis, c'est-à-dire purs et cristallisés.

C'est à M. Moissan que la science est redevable de ce résultat.

Le four Borchers (*fig. 48*), se compose essentielle-

Fig. 48



ment de deux grosses tiges de charbon d'un diamètre de 40^{mm} réunies par une petite baguette

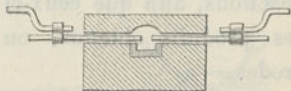
de même matière, et n'ayant que 4 millimètres de diamètre, et 40 millimètres de longueur.

On pose les gros crayons entre deux briques, dans chacune desquelles on a creusé, à cet effet, une cavité demi-cylindrique.

On remplit la cavité produite autour de la baguette de charbon avec le mélange d'oxyde et de charbon, et l'on fait passer le courant. Au bout de quelques minutes, toute la masse surchauffée est transformée en carbure.

Fours Moissan. — La *fig. 49* représente le premier appareil de M. Moissan, constitué simplement par deux briques bien dressées de chaux vive, appliquées l'une contre l'autre.

Fig. 49



La brique inférieure était creusée d'une rainure longitudinale qui recevait les deux électrodes, et au milieu se trouvait une petite cavité servant de creuset.

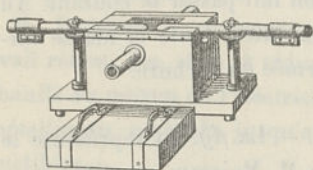
On pouvait ainsi concentrer toute la chaleur engendrée par le courant sur les substances à traiter, sans perte sensible par rayonnement.

La chaux est en effet si peu conductrice de la chaleur, qu'on pouvait maintenir la main posée à plat sur le couvercle du four en pleine acti-

tivité, bien qu'à l'intérieur la température s'élevât à 3500° .

La *fig. 50* reproduit un second type du four Moissan, semblable au premier, avec l'addition

Fig. 50



de tubes traversant les parois du four dans un plan perpendiculaire à celui des électrodes.

Ces tubes servaient au dégagement des gaz produits par les réactions, afin que ceux-ci ne pussent agir sur les produits obtenus, ou attaquer les électrodes.

Dans ses premières expériences, M. Moissan employait un courant de 30 ampères et 55 volts; il estime que la température atteinte était de 2200° C.

Plus tard, il disposa d'un courant de 100 ampères et 45 volts; enfin, au Conservatoire des Arts et Métiers, il utilisa un courant de 450 ampères sous 70 volts; il atteignit alors des températures de 3000 à 3500° , et réunit la production des carbures métalliques et la fusion des métaux les plus réfractaires.

Fours Bullier. — Le premier appareil qu'a préconisé M. Bullier, dans le but surtout de simplifier la main d'œuvre, est reproduit par la *fig. 51*.

Les murs sont formés de briques réfractaires ; la sole est en métal ou en charbon ; elle est articulée, et maintenue en place, au moyen d'un contre-poids et d'une fermeture.

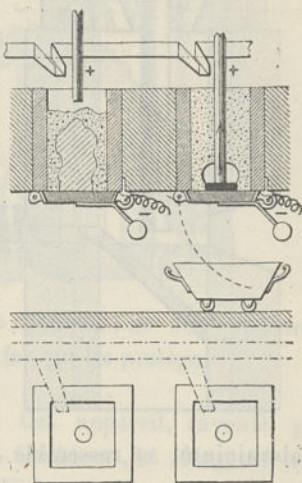
Elle constitue l'électrode négative.

Le charbon forme l'électrode positive.

Au fur et à mesure que la réaction s'opère, il se produit autour du charbon une cavité au fond de laquelle se dépose le carbure fondu ; on relève peu à peu le charbon positif, et la masse de carbure augmente progressivement de volume.

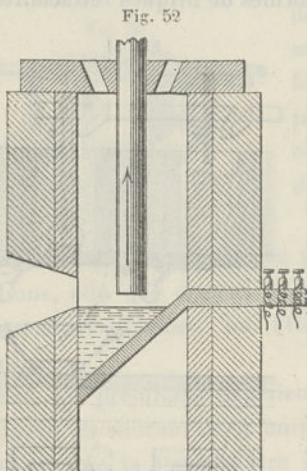
A la fin de l'opération, le four contient un

Fig. 51



gros bloc de carbure de calcium que l'on retire après refroidissement.

M. Bullier a imaginé un autre type de four (fig. 52), muni d'un trou de coulée qui permet



l'écoulement du carbure de calcium fondu, au fur et à mesure de sa production.

Four Willson. — Cet appareil est identique à celui que cet ingénieur a proposé pour l'électrometallurgie de

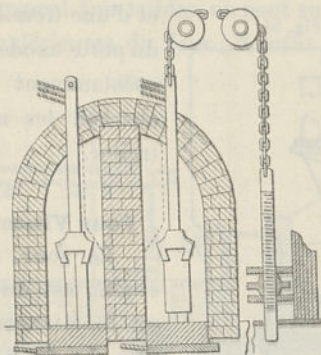
l'aluminium, et ressemble à celui d'Héroult.

Four de l'usine de Spray. — Basé sur le même principe que celui de Willson, et d'Héroult par conséquent, il en diffère cependant en ce qu'il est complètement fermé (fig. 53).

L'électrode inférieure est constituée par une plaque de fer, sur laquelle on dispose une

couche de charbon ; l'électrode supérieure est formée de 6 crayons de charbon, ayant chacun 10×10 centimètres de section droite, et un

Fig. 53



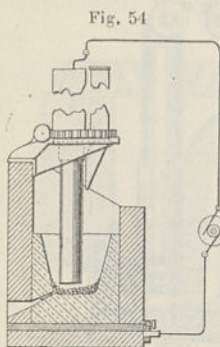
mètre environ de hauteur ; ils sont enfermés dans une gaine de fer qui les protège.

Four King. — Cet appareil, inventé par MM. Morehead, de Chalmont, et King, est employé aux usines Willson à Niagara.

Il ne diffère du four de l'usine de Spray que par des détails de construction.

Four Gearing (1895). — Proposé en vue d'appliquer plus uniformément le courant électrique aux matières à traiter, et de régulariser

l'usure des charbons, ce four ressemble au four Héroult; il est muni, en plus, d'un dispositif (*fig. 54*), qui imprime au charbon positif un mouvement de rotation autour de l'axe du four,



et d'une trémie, solidaire du porte-anode, qui verse constamment devant le charbon les matières à traiter.

Four Vincent (1895).

— Ce four, très bien étudié, est disposé pour un fonctionnement continu. La *fig. 55* le représente. Les électrodes sont

constituées par du charbon aggloméré, de forme rectangulaire; leur écartement est réglé automatiquement au moyen d'un solénoïde.

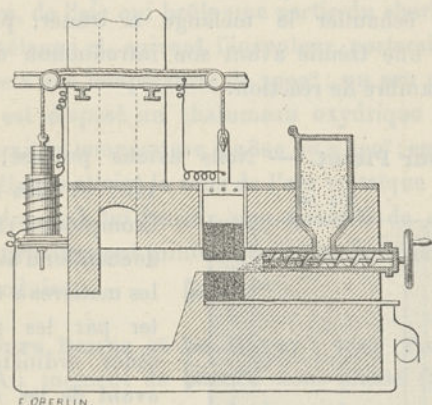
Tout est agencé de façon qu'il ne rentre pas d'air dans l'appareil.

Le mélange de chaux et charbon, finement pulvérisé, est placé dans une trémie, et, de là, amené à l'arc électrique au moyen d'une vis d'Archimède, représentée à gauche de la figure.

Les produits gazeux provenant de la réaction sont évacués par une cheminée.

Four King et Wyatt. — Suivant la remarque qu'en ont faite les inventeurs, le mélange de charbon et de chaux étant mauvais conducteur de la chaleur et, par suite, les pertes par rayonnement très faibles, on peut supprimer les parois extérieures du four ; il suffit de faire

Fig. 55



un tas du mélange à traiter, et de faire jaillir l'arc voltaïque au centre même de ces matières.

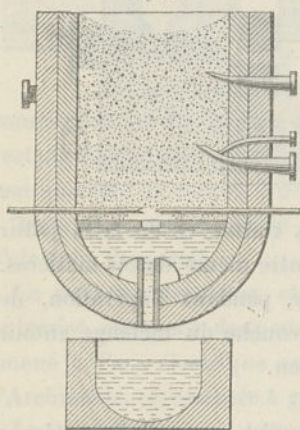
Il faut avoir soin, pendant l'opération, de maintenir une forte couche du mélange autour de la partie en réaction.

Four Regnoli. — Cet appareil, inventé par M. Regnoli, avec la collaboration de MM. Lori,

Pignotti, Pantaleoni et Besso, est basé sur la récupération d'une partie de la chaleur dégagée par la combustion de l'oxyde de carbone, qui est le produit de la réaction du charbon sur la chaux.

A cet effet, on évite toute introduction d'air dans l'intérieur du four, et l'on recueille dans un gazomètre l'oxyde de carbone qui est brûlé pour échauffer le mélange à traiter, placé dans une trémie avant son introduction dans la chambre de réaction.

Four Pictet. — Nous avons proposé, en 1887, et plus tard



1887, et plus tard Crompton en 1889, de chauffer d'abord les matières à traiter par les procédés ordinaires, avant de les soumettre à l'action de l'arc, afin de demander à l'électricité le minimum d'énergie.

C'est cette idée que M. Raoul Pictet a appliquée dans le four qu'il a imaginé (fig. 56).

L'arc est disposé à la partie inférieure de l'appareil ; il jaillit entre les extrémités de deux charbons horizontaux.

Le mélange de chaux et de charbon est introduit par la partie supérieure de l'appareil.

Il est chauffé en trois zones successives.

Vers le haut, on insuffle, au moyen d'une tuyère, de l'air qui brûle une partie du charbon du mélange et, suivant l'inventeur, porterait la masse à une température de 2000° ; un peu plus bas, est disposé un chalumeau oxydrique qui élèverait la température à 2300 ou 2400° ; enfin, le mélange atteint la zone de l'arc voltaïque qui n'a plus qu'à lui fournir une quantité de chaleur relativement minime pour que la réaction se produise.

Fours Bonna et Le Royer ; four Patin.

— Au moment de mettre sous presse (juillet 1897), on nous signale divers fours, parmi lesquels ceux de MM. Bonna et Le Royer, employés plus spécialement dans les recherches de laboratoire, et le four Patin, qui a reçu déjà une application industrielle importante.

QUATRIÈME PARTIE

LE CARBURE DE CALCIUM ET L'ACÉTYLÈNE

CHAPITRE PREMIER

CARBURE DE CALCIUM (CaC_2)

Historique. — L'existence des carbures métalliques fut reconnue, en 1836, par Edmond Davy.

C'est en cherchant à produire le potassium métallique, par la dissociation du carbonate de potassium, au moyen du carbone et à une haute température, que ce savant obtint, comme sous-produit, une petite quantité d'une poudre noirâtre qui n'était pas du potassium, mais un composé mal défini renfermant du potassium et du carbone.

Edmond Davy reconnut que ce produit se décomposait au contact de l'eau, et donnait naissance à un carbure d'hydrogène ; on trouva plus tard que ce carbure était de l'acétylène.

En 1861, Vöhler obtint du carbure de calcium en chauffant au rouge blanc un mélange de chaux, de zinc et de carbone ; il fit la même observation qu'Edmond Davy, et obtint de l'acétylène en mettant ce carbure en présence de l'eau.

Berthelot obtint, en 1866, du carbure de sodium ou acétylure de sodium, en chauffant le sodium métallique dans une atmosphère d'acétylène.

Mis en présence de l'eau, ce corps se décompose et dégage de l'acétylène.

En 1892, Maquenne produisit du carbure de baryum, en distillant l'amalgame de baryum à 20 % dans un courant d'hydrogène pur et sec, en présence du charbon en poudre ; dans le cours de la même année, ce savant en obtint plus simplement, en chauffant en vase clos un mélange de 26^{gr},5 de carbonate de baryte, 10^{gr},5 de magnésium, 4 grammes de charbon de bois.

M. Maquenne reconnut que ce carbure, comme les carbures de potassium, sodium, baryum, mis en présence de l'eau, dégageait de l'acétylène, et

fit ressortir l'importance de ce mode de préparation de l'acétylène (1).

La même année, Travers, en Angleterre, réussit à produire le carbure de calcium, en chauffant un mélange de sodium, de chlorure de calcium et de charbon de cornue pulvérisé.

Le composé qu'il obtint ne contenait guère que 16 % de carbure de calcium.

Enfin, M. Moissan annonça, dans une communication à l'Académie, le 12 décembre 1892, qu'il avait réussi à produire au four électrique un carbure de calcium liquide, au rouge, et facile à recueillir.

Le carbure de calcium avait déjà été préparé au four électrique en 1880 par M. Borchers; mais, comme nous l'avons dit dans le paragraphe qui traite des fours appliqués à la fabrication des carbures métalliques, le produit obtenu par ce savant était mal défini; la même observation s'applique au carbure de calcium que Willson réussit à fabriquer au four électrique.

M. Moissan, au contraire, fixa rigoureusement les conditions dans lesquelles doit se produire la réaction au four électrique, pour produire un carbure de calcium défini, conditions qui se rap-

(1) MAQUENNE. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 15 février 1892, et 17 octobre 1892.

portent aux proportions de chaux et de charbon mis en présence et à la température de l'expérience qui doit être de 3 000°.

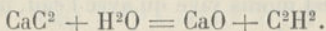
M. Bullier, qui avait aidé M. Maquenne dans ces expériences, et fut plus tard le collaborateur de M. Moissan, prévint les avantages qu'on pourrait tirer de l'emploi du four électrique dans la production des carbures métalliques; il se rendit rapidement compte de l'intérêt que présentait pour l'industrie le carbure de calcium pur, préparé par M. Moissan, et prit un brevet sur le nouveau procédé de fabrication du carbure de calcium et sur l'application de ce produit à la préparation de l'acétylène.

M. T. L. Willson prit des brevets analogues en Amérique.

Propriétés physiques et chimiques. — Le carbure de calcium est fluide au moment de sa formation au four électrique. En se refroidissant, il cristallise; sa couleur est gris foncé et son aspect rappelle celui du coke. Sa formule chimique est CaC_2 . Sa densité est 2,2; il a la dureté du granit et sa cassure est cristalline.

Il est très hygrométrique; à l'air libre, il absorbe l'humidité atmosphérique; l'oxygène de l'eau se fixe sur le calcium et le transforme en

chaux, et l'hydrogène se combine avec le carbone pour former de l'acétylène ;



Les mêmes réactions se produisent, mais avec une activité beaucoup plus grande, lorsque le carbure de calcium est mis en présence de l'eau.

M. Moissan a trouvé que le carbure de calcium est un corps relativement peu actif ; il peut être chauffé dans l'hydrogène, ou exposé à l'azote, à la température de 1200° C., ou, encore, mis au contact du silicium ou du bore, à la température du rouge vif, sans éprouver aucune modification.

A une température un peu supérieure à celle du rouge sombre, il s'allie avec le fer.

Il devient incandescent au contact du chlore, du brome, de l'iode, aux températures respectives de 245, 350 et 305°.

Il brûle dans l'oxygène en formant du carbonate de chaux.

Dans les vapeurs sulfureuses, il devient incandescent à la température de 500°, en formant un dépôt de sulfure de calcium et de bisulfure de calcium.

En contact avec la vapeur d'eau, il est décomposé et il y a production d'acétylène, mais la réaction est moins vive qu'avec l'eau, même à la température du rouge sombre.

D'après les expériences faites par M. Pellissier, la décomposition du carbure par l'eau diminue à mesure que la température s'élève; on peut placer du carbure de calcium dans un feu ardent et verser de l'eau sur le carbure sans que celui-ci soit décomposé.

Avec les acides dilués, il se comporte comme avec l'eau.

Il est faiblement attaqué par l'acide nitrique fumant et l'acide sulfurique monohydraté.

L'acide chlorhydrique sec le rend incandescent.

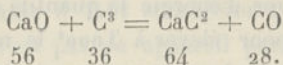
En présence de l'acide chromique fondu, il forme de l'acide carbonique; mais la solution d'acide chromique agit comme les autres acides dilués.

Il est oxydé, au rouge, par le chlorate et le nitrate de potasse, et il y a formation de carbonate de chaux.

Il est également oxydé avec incandescence par le peroxyde et le chromate de plomb.

Préparation. — Le carbure de calcium s'ob-

tient au moyen de la réduction de la chaux par le charbon à une haute température :

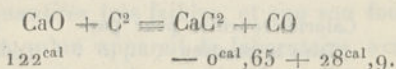


D'où l'on déduit que pour produire 100 parties de carbure de calcium, il faut employer théoriquement 87,5 parties de chaux et 56,25 parties de carbone.

Le carbure contient 72,5 parties de calcium et 37,5 parties de carbone.

Energie dépensée dans la production d'un kilogramme de carbure. — Si l'on considère les quantités de chaleur mises en jeu dans la réduction de la chaux par le carbone, on voit que, d'après les données de la thermochimie, il manque $93^{\text{cal}},75$.

On a, en effet :



Le carbure de calcium étant un corps endothermique, sa chaleur de formation serait égale, d'après M. de Forcrand, à $- 0^{\text{cal}},65$.

Les $93^{\text{cal}},75$ qui manquent, correspondant à la $\text{CaC}^2 = 64$ grammes, il faudra, pour produire un kilogramme de carbure de calcium, fournir

une quantité de chaleur égale à 1 465 calories ; et l'on devra, pour assurer la réaction, ajouter à cette somme d'énergie la quantité de chaleur nécessaire pour élever à 3 000° le mélange de chaux et de charbon et pour compenser les pertes de chaleur par radiation.

La chaleur spécifique de la chaux étant très faible, on peut négliger l'énergie calorique absorbée par cet oxyde.

Celle du carbone est égale à 0,46.

Or, comme il faut 562^{gr},5 de carbone pour produire 1 kilogramme de carbure de calcium, la quantité de chaleur à fournir pour porter à 3 000° le charbon seulement sera :

$$0,5625 \times 0,46 \times 3\,000^{\circ} = 776 \text{ calories.}$$

et si l'on compte une perte de 15 % par radiation, on a finalement :

Calories tournées pour par-	
faire la réaction	1 465 ^{cal}
Calories absorbées par le car-	
bone pour atteindre à	
3 000°	776
Pertes par radiation	336
	<hr/>
	2 577 ^{cal}

soit en totalité une absorption de 2 577 calories qui équivalent à 4,1 chevaux-heure (un cheval-

heure équivaut à 270 000 kilogrammètres ou 630 calories).

Mais, comme il faut considérer que le four électrique n'est pas un appareil parfait, on ne sera pas éloigné de la vérité en comptant une dépense de 5 chevaux-heure pour produire 1 kilogramme de carbure de calcium.

Voyons comment les résultats de l'expérience concordent avec ces chiffres.

M. Moissan, dans ses premiers essais, a obtenu 150 grammes de carbure, en faisant agir, pendant quinze à vingt minutes, un courant de 350 ampères et 70 volts.

Il aurait fallu, d'après ces résultats, dépenser 40 kilowatts-heure (53 chevaux-heure), soit dix fois le chiffre que nous venons d'indiquer, pour produire 1 kilogramme de carbure.

Il faut dire que M. Moissan n'opérait alors que sur des quantités très faibles, et que son four, qui n'était qu'un appareil de laboratoire, avait un très mauvais rendement.

Willson a déclaré qu'il pouvait obtenir 1^{kg} de carbure de calcium avec une dépense d'énergie ne dépassant pas 2,7 et 1,8 chevaux-heure.

Nous croyons qu'il est difficile d'arriver à de tels résultats.

M. Bullier, plus modeste, a dit qu'il pouvait

obtenir 6 kilogrammes d'aluminium pour une dépense de 1 cheval-journée ; ce qui correspond à 4 chevaux-heure par kilogramme de carbure produit.

A Spray, d'après un rapport de MM. Houston et Kennelly, on a recueilli, dans une première expérience, 102^{kg},7 de carbure, pour une dépense de 579,2 chevaux-heure électriques fournis au four ; c'est une dépense de 5,6 chevaux-heure par kilogramme de carbure.

Dans une seconde expérience, on dépensa 520,7 chevaux-heure pour 87^{kg},5 de carbure, soit 6 chevaux-heure environ par kilogramme.

Nous croyons possible d'arriver à une meilleure récupération de l'énergie, et nous considérons comme fort probable le chiffre de 5 chevaux-heure donné plus haut.

Centres de fabrication. — Plusieurs usines ont été créées dans le but de fabriquer au four électrique le carbure de calcium.

Nous avons déjà cité celle de Spray, en Amérique, qui procède d'après la méthode préconisée par Willson.

En Europe, on compte plusieurs entreprises : celle de M. Bullier, qui s'installa d'abord à Vallorbes, en Suisse, et à Bellegarde-sur-Valserine, en France, et qui organise en ce moment

un centre très important de fabrication à Notre-Dame-de-Briançon (Savoie), où cet ingénieur disposera d'une puissance hydraulique de plusieurs milliers de chevaux.

Cette dernière usine est administrée par la Société des carbures métalliques (1).

Le carbure de calcium est aussi préparé aux usines de Neuhausen, en Suisse, Bitterfeld, en Allemagne, Forges et La Praz, en France.

Prix de revient. — M. Willson avait déclaré, dans une conférence faite en 1895, que le carbure de calcium ne coûterait pas plus de 75 francs la tonne. Il me paraît difficile qu'on puisse descendre aussi bas, si l'on songe que, pour produire une tonne de carbure, il faut tenir compte déjà d'une dépense de 5 000 chevaux-heure représentant au minimum une somme de 55 francs ; qu'à cette dépense on doit ajouter le coût de 875 kilogrammes de chaux finement pulvérisée, et 562^{kg},5 de coke choisi, pour ne compter que les matières théoriquement nécessaires.

Soit en nombres ronds :

900 ^{kg} de chaux à 30 francs la tonne.	27 ^{fr}
600 de charbon à 20 francs la tonne	12
	<hr style="width: 50%; margin-left: auto; margin-right: 0;"/> 39 ^{fr}

(1) Siège social, Boulevard Hausmann, 50, Paris.

Restent encore diverses dépenses :

Électrodes (anodes et cathodes)	5 ^{fr}
Entretien des fours	10
Main-d'œuvre	10
	<hr/>
	25 ^{fr}

Nous arrivons déjà au chiffre de

$$51 + 39 + 25 = 119 \text{ francs.}$$

Il faut ajouter encore l'emballage (10 francs), et les frais généraux qui, pour une fabrication de 10 tonnes par jour, correspondant à une usine de 2 000 chevaux électriques, seront de 20 fr. par tonne.

Finalement, on a pour le prix de revient :

Énergie électrique	55 ^{fr}
Matières premières	39
Électrodes. Main-d'œuvre	25
Emballage.	10
Frais généraux	20
	<hr/>
	149 ^{fr}

soit 150 francs par tonne; et, nous considérons ce chiffre comme un minimum difficile à atteindre.

En réalité, le carbure de calcium revient à 250 et 300 francs la tonne.

C'est à ces chiffres qu'est arrivé M. Désiré Korda, dans une étude qu'il a présentée au Con-

grès d'électrochimie, tenu à Paris en août 1896 (1).

Carbure de calcium du commerce. — Le carbure de calcium qu'on trouve dans le commerce n'est pas toujours pur ; outre les proportions de chaux et de carbone qu'il peut contenir en excès, il renferme diverses impuretés comme la silice, le siliciure de carbone, etc.

Parmi ces impuretés, il en est qui peuvent être considérées comme des matières inertes en présence de l'eau, et dont le seul effet est d'abaisser la teneur du carbure de calcium et, par suite, son rendement en acétylène ; d'autres produiront, au contact de l'eau, des composés qui nuiront à la pureté de l'acétylène, sans affecter le rendement du carbure ; ces dernières sont les plus dangereuses.

On les étudiera dans le paragraphe qui traite des impuretés de l'acétylène.

(1) Journal *L'Électrochimie* ; deuxième année, n° 9, septembre 1896.

CHAPITRE II

ACÉTYLÈNE (C^2H^2).

Historique. — L'acétylène a été découvert incidemment, en 1836, par Edmond Davy, en traitant par l'eau le résidu de la fabrication du potassium au moyen du charbon et du carbonate de potasse.

Ce résidu n'était autre chose que du carbure de potassium ; mais sa nature ne fut pas déterminée à cette époque.

Le gaz d'éclairage contient 0,06 % d'acétylène ; le gaz à l'eau 1 % environ.

En 1839, Torrey remarque dans les canalisations du gaz de New-York, composées de conduites en cuivre, un corps brunâtre, l'acétyleure de cuivre, éminemment explosif par le choc ou une faible élévation de température.

Crova fit la même observation, et Boettger

obtient aussi de l'acétylure de cuivre, en faisant barboter du gaz d'éclairage dans une solution ammoniacale de cuivre.

Quet prépara également ce composé en faisant passer, dans une solution ammoniacale de protochlorure de cuivre, les gaz qui proviennent de la décomposition de l'alcool par l'étincelle électrique ou la chaleur.

Mais aucun de ces savants ne détermina la nature exacte de ces composés, ni la nature du gaz qui s'en dégage par l'action des acides.

C'est à M. Berthelot que l'on doit l'étude complète de ce gaz.

Ce savant étudia d'abord l'acétylure de cuivre et démontra qu'en attaquant ce composé par l'acide chlorhydrique, il se dégage de l'acétylène.

Il obtint ensuite directement ce gaz par synthèse, en faisant agir de l'hydrogène sur le carbone, au contact de l'étincelle électrique.

M. Berthelot détermina aussi les propriétés physiques et chimiques de l'acétylène et démontra qu'en partant de l'acétylène on pouvait obtenir, par synthèse, un grand nombre de composés organiques.

Outre les procédés indiqués plus haut, il existe d'autres méthodes pour obtenir l'acétylène : en

décomposant le gaz des marais ou le gaz de houille à une haute température par l'étincelle électrique ; par la décomposition du tétrachlorure de carbone en présence de l'hydrogène, au moyen de l'étincelle électrique ; en faisant passer des vapeurs d'éthylène, d'alcool, d'esprit de bois, etc., dans un tube de porcelaine chauffé au rouge, ou encore, des vapeurs de chloroforme sur du cuivre chauffé au rouge.

Mais de tous ces procédés, sans contredit, le plus pratique et le plus économique est celui qui a pour base l'attaque de l'eau par le carbure de calcium.

Propriétés chimiques. — La formule atomique de l'acétylène est $C^2H^2 = 26$.

Il renferme 92,3 parties de carbone et 7,7 parties d'hydrogène.

La benzine (C^6H^6), le styrolène (C^8H^8), qui sont les polymères de l'acétylène, ont la même composition centésimale que ce gaz.

A l'endiomètre 1 volume d'acétylène se combine avec 2^{vol},5 d'oxygène et produit 2 volumes d'acide carbonique.

C'est un composé endothermique ; il absorbe en se formant 51,4 ou 58^{cal},1, suivant l'état du carbone qui entre dans sa composition ; le pre-

mier chiffre correspond au carbone amorphe, le second au charbon diamantifère.

La puissance calorifique de sa combustion est considérable ; elle est de 14 340 calories par mètre cube et 12 200 par kilogramme.

Sous l'action de la chaleur, l'acétylène se transforme en ses polymères ; il est absorbé à froid par le fer, le nickel et le cobalt pyrophoriques ; la chaleur développée dans cette absorption est telle que le métal est, parfois, porté à l'incandescence.

Propriétés physiques. — L'acétylène est un gaz incolore, doué d'une odeur alliacée désagréable lorsqu'il est souillé d'impuretés ; mais, suivant Moissan, cette odeur se rapprocherait plutôt de celle de l'éther, lorsqu'il est pur.

Le poids spécifique de l'acétylène, rapporté à celui de l'air à la température de 0° C. est de 0,91 ; le poids d'un mètre cube de ce gaz est, par suite, de 1 169 grammes ; et le volume d'un kilogramme est de 855 litres.

L'acétylène se liquéfie facilement par la pression et par le froid.

Les chiffres qui suivent et qui concernent cette liquéfaction ont été trouvés expérimentalement par M. P. Villard ; ils sont généralement consi-

dérés comme se rapprochant très près de la vérité :

LIQUÉFACTION DE L'ACÉTYLÈNE

Température	Pressions	Observations
- 90°	0,89 ^{atm}	Acétylène solide
- 85	1,00	//
- 81	1,25	Point de fusion
- 70	2,22	Acétylène liquide
- 60	3,55	//
- 50	5,30	//
- 40	7,7°	//
- 23,8	13,20	//
0	26,05	//
+ 5	30,30	//
+ 11,3	34,80	//
+ 15	37,90	//
+ 20,3	42,80	//
+ 37	68,00	Point critique

L'acétylène liquide est excessivement mobile ; c'est le liquide le plus léger que l'on connaisse ; sa densité est 451 à 0°, 420 à 16°/4, 364 à 35°, 8.

Son coefficient de dilatation est très élevé.

L'acétylène se dissout dans un grand nombre de corps.

C'est à MM. Claude et Hess que l'on doit de connaître la solubilité de l'acétylène dans l'acétone.

La solubilité de l'acétylène augmente avec la pression ; c'est ainsi qu'à une pression de 12 atmosphères, l'acétone dissout 360 fois son volume d'acétylène.

Dissolvants	Solubilité de l'acétylène gazeux dans les liquides à la pression de 760 millimètres et à la température de 0°C
Eau saturée de sel marin.	0,05 volumes
Eau	1 //
Sulfure de carbone.	1 //
Pétrole raffiné	1,5 //
Essence de térébenthine	2 //
Chloroforme	4 //
Benzine.	4 //
Alcool absolu	6 //
Acétone.	31 //

Dangers et inconvénients. — On a beaucoup exagéré les dangers de l'acétylène, surtout après les accidents qui se sont produits au début de son application.

On avait opéré d'abord avec témérité et inexpérience ; à la suite de ces accidents, il se produisit, comme toujours, une réaction en sens contraire et, à l'engouement du début succéda une appréhension contre ce gaz, qui dure encore.

Mais nous pensons que le développement des applications de l'acétylène à l'industrie et à l'éclairage, après ce moment d'arrêt, reprendra sa marche. L'acétylène produit, en brûlant, une intensité lumineuse considérable, qui trouvera certainement son application, à côté de l'éclairage au gaz, au pétrole et à l'électricité.

Les dangers et les inconvénients de l'acétylène peuvent être envisagés à plusieurs points de vue : explosibilité à l'état pur, ou mélangé avec d'autres gaz ; toxicité ; attaque des métaux ; fumivoricité.

Il est intéressant de voir comment on remédie à ces défauts.

Explosibilité. — M. Berthelot a démontré par l'expérience que tous les gaz endothermiques, c'est-à-dire les gaz qui absorbent de la chaleur en se formant et en dégagent en se décomposant, peuvent se résoudre brusquement en leurs éléments, à la manière des corps explosifs comme la nitroglycérine, le fulmi-coton, etc.

On pouvait donc craindre que l'acétylène, gaz endothermique, ne fût un explosif.

Il n'en est rien, heureusement, pour l'avenir de ce gaz, lorsqu'il se trouve à la pression atmosphérique.

On arrive bien avec un point en ignition, un

choc ou la détonation du fulminate de mercure, à produire l'explosion d'une partie du gaz, mais la décomposition ne se propage pas dans toute la masse.

A la pression atmosphérique, ou à une faible pression, l'acétylène n'est donc pas explosif.

M. de Brevans l'a constaté dans ses recherches ⁽¹⁾.

L'explosibilité de l'aluminium a fait l'objet de l'étude de plusieurs ingénieurs et savants.

M. de Saint-Paul, ingénieur de la Compagnie du chemin de fer de P.L.M., a fait les remarques suivantes ⁽²⁾ : L'acétylène est un gaz stable lorsqu'il a une faible pression ; comprimé, il possède les propriétés d'un mélange détonant.

M. de Saint-Paul a constaté qu'à une pression comprise entre deux et trois atmosphères, il suffit de faire rougir un fil de platine qui traverserait l'acétylène pour avoir une explosion violente.

⁽¹⁾ MM. Maquenne et Dixon ont publié sur ce point des observations intéressantes. *Comptes rendus, de l'Académie des Sciences CXXI*, 1895.

⁽²⁾ *Congrès international de chimie appliquée; section d'électrochimie*. Troisième séance, du lundi, 3 août 1896. *Journal L'Électrochimie*. Deuxième année, n° 11, p. 183.

L'acétylène comprimé pourrait faire aussi explosion sous l'influence de la détonation de l'acétylène de cuivre, comme de toutes amorces en général.

MM. Berthelot et Vieille ont observé que sous des pressions supérieures à *deux atmosphères* l'acétylène manifeste les propriétés ordinaires des mélanges tonnants. Si l'on excite sa décomposition par simple ignition, en un point, elle se propage dans toute sa masse, sans affaiblissement appréciable.

La réaction se propage également bien dans l'acétylène liquide par simple ignition.

Un simple choc ne détermine pas toujours l'explosion ; mais cette dernière est presque certaine, par la friction des fragments métalliques les uns contre les autres, ou contre les objets extérieurs, à la suite de laquelle une étincelle peut se produire.

Comme conclusion, et pour éviter tout accident, il faut autant que possible employer l'acétylène à une pression ne dépassant pas une atmosphère et demie.

Il paraît cependant que l'acétylène à l'état dissous dans l'acétone est inexplosif jusqu'à une pression de sept à huit atmosphères ; dans ce cas, il sera prudent de se tenir à une pression infé-

rieure de une ou deux atmosphères à la pression critique.

Mélanges tonnants. — Les mélanges d'air et d'acétylène sont plus ou moins inflammables et explosifs.

Suivant M. Le Châtelier, ils ne commencent à s'enflammer qu'à partir d'une proportion d'acétylène égale à 2,7 % et cessent de l'être lorsque les proportions de ce gaz excèdent 65, 1 %.

Le gaz à éclairage ne s'enflamme que lorsqu'il est mélangé à l'air dans la proportion de 8, 0 %.

La température d'inflammation de l'acétylène est inférieure à celle des autres gaz, elle ne dépasse guère 500°.

Il y a donc lieu de prendre avec l'acétylène beaucoup plus de précautions que n'en exigent les autres gaz.

Attaque des métaux. — M. de Brevans a résumé, dans une conférence qu'il a faite au Congrès international de chimie appliquée, quelques observations relatives à ce sujet, ainsi qu'à la toxicité de l'acétylène.

L'attaque des métaux par l'acétylène, comme l'a fait remarquer cet ingénieur, est inséparable de l'étude de l'explosibilité de ce gaz, les acétylures métalliques pouvant, dans certains cas, jouer le rôle de détonateurs.

L'acétylène, tel qu'il provient de la réaction du carbure de calcium sur l'eau, *sans avoir été desséché et purifié*, à sa sortie du générateur, attaque rapidement le cuivre et certains alliages, tel que le laiton ; il est sans action sur l'étain, le plomb, l'antimoine et leurs alliages, sur le bronze, le nickel et le fer.

Cette action, non seulement peut être une source de danger, mais encore elle entraîne la détérioration rapide du matériel ; est-elle due à l'action de l'acétylène seule ou des impuretés qui le souillent ?

M. Lewes a reconnu que le gaz sec et pur est sans action sur les métaux ; humide, il attaque le cuivre et ses alliages.

M. Bullier a fait remarquer que la formation d'acétylène de cuivre n'a lieu que si l'acétylène se trouve au contact d'un sel de cuivre au minimum.

Nous avons vu que MM. Torrey et Crova avaient trouvé de l'acétylure de cuivre dans les canalisations de gaz de houille où la proportion d'acétylène est très faible ; du reste, on ne peut affirmer que l'acétylène ne se trouvera jamais en contact qu'avec des sels de cuivre au maximum ; il faut, par conséquent, éviter autant que possible l'emploi du cuivre dans les canalisations.

Toxicité. — Il résulte des expériences de M. Gréhan, professeur au Muséum d'histoire naturelle, résumées dans une note parue à l'Académie, le 21 octobre 1895, que l'acétylène n'est toxique qu'à une dose élevée, et moins dangereux sous ce rapport que le gaz d'éclairage.

M. Gréhan a fait respirer à un chien, sans danger, un mélange renfermant 20 % d'acétylène.

Il forma un second mélange de 54 litres d'acétylène, 66 litres d'air, 16^l,5 d'oxygène ; le chien, après avoir respiré ce mélange, présenta quelque agitation ; au bout de cinquante et une minutes, il en avait absorbé 112 litres, il étendit brusquement ses pattes et mourut.

Dans un autre mélange renfermant 79 d'acétylène et 21 d'oxygène, un chien mourut au bout de vingt-sept minutes.

A propos de cette note, M. Berthelot a rappelé les expériences qu'il avait faite, il y a trente ans, avec Cl. Bernard, à la suite desquelles il avait conclu à la non toxicité de l'acétylène, lorsque les proportions d'acétylène dans l'air n'excèdent pas quelques centièmes.

Et alors, les dangers auxquels on s'expose se rattachent davantage au mélange tonnant qui s'est formé qu'à la nature du gaz.

Impuretés. — M. Giraud a fait une étude très intéressante sur ce sujet ⁽¹⁾.

Le carbure de calcium est préparé industriellement avec des matières premières qui renferment, outre la chaux et le charbon, des quantités parfois considérables d'alumine, d'oxyde de fer, de silice, de soufre, de phosphates, etc., qui, participant aux réactions du four électrique, donnent naissance à des produits secondaires comme le phosphore et le siliciure de calcium et de fer, dont est souillé le carbure de calcium.

Nous donnons, à la page suivante, les résultats des analyses effectuées par M. Giraud sur le gaz acétylène provenant de carbures de diverses provenances.

M. Giraud n'a trouvé ni cyanures ni hypophosphites. La partie insoluble renferme quelquefois un siliciure de calcium ou de magnésium décomposable par l'acide chlorhydrique, avec formation d'hydrogène silicié inflammable.

Le fer paraît être à l'état de siliciure ; l'aluminium à l'état de siliciure ou d'aluminium libre.

On rencontre aussi du silicium cristallisé et du carbure de silicium, mais on n'a trouvé que

⁽¹⁾ *Congrès international de chimie appliquée.*
Séance du 3 août 1896.

des traces de graphite, même dans les échantillons de couleur noire.

Échantillons	A	B	C	D
Rendement en gaz de 1 kilogramme de carbure . . .	265 ^l	303	//	310
Ammoniaque par 1 mètre cube	0,87,40	0,48	0,06	2,79
Hydrogène phosphoré par 1 mètre cube	0,83	1,72	1,07	0,45
Hydrogène sulfuré par un mètre cube	0	0	0	1,34
Acétylène % volumes	99,5	95,9	98,5	98,3
Azote % volumes	0,43	2,91	1,03	1,12
Oxyde de carbone % volumes	0,8	1,19	0,49	0,57
Oxygène % volumes	0	0	0,04	0

Cette couleur paraît due, dans les échantillons examinés, à la présence du silicium et du siliciure de fer.

L'hydrogène phosphoré est, de toutes les impuretés, celle qui présente le plus de danger ; il est donc important qu'on n'utilise dans la fabrication du carbure de calcium que des matières premières exemptes de phosphates.

L'acétylène comme agent d'éclairage. — M. Hubou a fait des recherches très remarqua-

bles sur cette question ; elles ont été présentées, comme celles de MM. Korda, de Saint-Paul, Bullier, de Brevans, Giraud, dont nous avons parlé, au Congrès international de chimie appliquée.

Le volume d'acétylène dégagé par kilogramme de carbure, qui, théoriquement, devrait être de 340 litres, à 0° et à 760 millimètres, descend pour certains produits à 250 litres seulement.

Il faut dire que souvent le rendement en acétylène est faible par le fait que le carbure de calcium a été préparé incomplètement, et que cependant il n'est entré dans sa fabrication que des matières premières relativement pures ; de sorte que le gaz acétylène, bien qu'en petite quantité par rapport au carbure de calcium dépensé, ne renferme que peu d'impuretés.

Nous avons vu que le gaz recueilli variait de composition avec les carbures, et aussi la proportion d'acétylène, suivant les expériences de M. Giraud, entre 96 et 99,5 %.

Ce gaz est appelé à jouer un rôle prépondérant comme agent d'éclairage, à raison de son pouvoir éclairant considérable dû aux trois causes suivantes, également importantes :

1° Sa teneur en carbone, supérieure à celle de tous les gaz combustibles connus ;

2° Son état endothermique ; il restitue au moment de sa décomposition, en donnant lieu à un dépôt de charbon incandescent, les 60^{cal},5 qu'il a absorbées pour sa formation ;

3° Sa température de combustion qui est plus élevée que celle du gaz ordinaire et qui, réchauffant les particules de carbone incandescentes, en augmentent le rendement lumineux.

La pression du gaz à la sortie des becs doit être, toutefois, supérieure à celle du gaz ordinaire.

Les becs employés sont, ou des becs papillon à fente très étroite, ou des becs Manchester à trous très fins, inclinés et produisant deux jets de gaz qui, en se rencontrant, s'étaient en lame mince, dans un plan perpendiculaire à l'axe des trous, ou encore des becs à un ou plusieurs trous parallèles.

Il n'y a pas d'avantage à élever la pression au-delà de celle que nécessite le bon fonctionnement du bec employé ; en la diminuant, par contre, la flamme qui était bien fixe s'infléchit, devient molle, de couleur jaunâtre, et tend à être fuligineuse.

Une des applications du gaz acétylène qui paraît la plus immédiate est son emploi à l'éclairage des wagons de chemins de fer.

M. Hubou fait ensuite une étude comparative, très documentée, du pouvoir éclairant des principales sources de lumière.

Il rappelle que M. Violle a montré avec sa lampe à étalon, en acétylène, que la carcel-heure peut être obtenue avec une consommation de 5^l,56 seulement, alors qu'elle est, avec le gaz de houille brûlant dans un bec Bengel, de 105 litres, de sorte que l'acétylène éclairerait, à volume égal, environ vingt fois plus que le gaz de houille.

M. Raoul Pictet affirme que le pouvoir éclairant de l'acétylène liquide et bien purifié serait de trente fois celui du gaz.

Voici les chiffres obtenus par M. Hubou avec des becs Manchester de différents débits :

Bees donnant en pouvoir éclairant	Débit d'acétylène par carcel-heure
De 1 à 2 carcels.	8 litres
" 2 à 5 "	7,5 "
" 5 à 10 "	7 "
Au delà de 10 carcels	5,6 (chiffres de Violle)

M. Hubou a cherché ensuite à comparer les principaux becs du commerce, alimentés à l'huile de colza, au pétrole, au gaz de houille,

et les lampes à incandescence avec les becs à acétylène.

Il admettait que le prix de vente du carbure de calcium était de 40 francs les 100 kilogrammes, et que le kilogramme de carbure fournissait en moyenne 300 litres d'acétylène, ce qui représentait 1^{fr},33 comme coût d'un mètre cube d'acétylène; à ce nombre on ajoutait 0^{fr},17 pour les frais concernant l'amortissement du matériel (générateurs), main-d'œuvre, etc.

Finalement, on n'est pas éloigné de la vérité en admettant une dépense de 1^{fr},50 pour un mètre cube d'acétylène brûlé.

Le prix d'achat des autres matières ou source d'éclairage sont :

Bougie stéarine	2 ^{fr}	le kilogramme
Huile de colza épurée	1, 65	"
Pétrole de luxe	0, 97	"
Gaz de houille	0, 30	le mètre cube
Lampe à incandescence	1	le kilowatt-heure.

D'après ces données, M. Hubou a dressé le tableau comparatif des différents prix par *bec-heure* que nous reproduisons p. 168.

Dans le prix donné pour le Bec Auer n'intervient pas celui du renouvellement des manchons.

Si l'on compare entre eux les différents sys-

Systèmes d'éclairage	Pouvoir éclairant en carrels	Consommation horaire	Consommation d'acétylène même pouvoir	Prix de revient en centimes	
				du bec-heure considéré	du bec-heure acétylène correspondant
Bougies de l'Étoile . . .	0,125	10gr	"	3	"
Lampe carcel . . .	1	42	8lit	4,4	1,2
Pétrole 7 lig. plat. . .	0,5	20	4,15	1,94	0,65
" 18 lig. rond . . .	3,2	80	24	7,70	3,60
<i>Gas</i>					
Bec papillon . . .	1	140	8	4,80	1,20
" à jet 30 trous. . .	1	120	8	3,80	1,20
" parisien. . .	5,72	200	40	6	6
" " . . .	9,60	300	67	9	11,2
Lampe Wenham . . .	5,08	170	37	5,1	5,5
L'industriel . . .	7	250	49	10,5	7,3
" " . . .	22	750	122	22,5	18,3
Bec Auer n° 1 . . .	3	85	22,5	2,6	3,4
" n° 2 . . .	5	120	37,5	3,6	5,6
Lampe à incandescence . . .	1	30 w.-h.	8	3	1,2

tèmes d'éclairage employés pour les voitures des chemins de fer, on trouve que, dans chaque compartiment, une lampe à huile de colza épurée, coûtant 54 francs les 100 kilogrammes, consomme 20 grammes à l'heure, pour ne produire qu'un pouvoir éclairant de quatre bougies.

La dépense se monte à 1^{cent},1 pour la consommation de l'huile, à laquelle il faut ajouter 0^{cent},22 pour la consommation des mèches, cheminées, etc.

La dépense horaire d'une lampe à pétrole revient, à la Compagnie d'Orléans, à 1^{cent},16 et elle en installe deux par compartiment.

L'éclairage au gaz d'huile revient à 1^{cent}, l'heure, et le pouvoir éclairant ne dépasse pas sept bougies.

L'éclairage avec une lampe à incandescence de dix bougies revient à 2^{cent},8 ainsi que l'a constaté la Compagnie du Nord.

En chargeant de gaz acétylène les réservoirs des voitures alimentés au gaz d'huile et en remplaçant les brûleurs de 25 litres par des becs Manchester débitant seulement 12 litres d'acétylène, on a un pouvoir éclairant d'au moins 1,5 carcel et le prix de revient du bec acétylène est de 1^{cent},8.

Applications diverses. — Le rôle de l'acétylène ne se borne pas à l'éclairage. Il est aussi recherché pour son application au chauffage, au moyen de fourneaux semblables aux fourneaux à gaz et à pétrole.

Une application qui paraît également très réalisable, c'est son emploi au chalumeau.

Enfin l'acétylène peut servir à enrichir, par carburation, le gaz pauvre servant pour la force motrice et qui, par lui-même, n'est pas éclairant ; de même, il serait susceptible d'être avantageusement utilisé pour les moteurs à gaz fixes ou mobiles, en l'employant seul ou mélangé avec d'autres hydrocarbures.

Les applications chimiques de l'acétylène paraissent devoir être fort nombreuses : fabrication de la benzine et des carbures aromatiques, de l'alcool, de l'acide oxalique, de l'aldéhyde, des cyanures, etc.

Appareils générateurs. — Les appareils à génération du gaz acétylène sont nombreux et peuvent être rangés en trois classes principales :

Première classe. — Gazogènes dans lesquels l'eau et le carbure sont dans des vases séparés, et où l'eau tombe sur le carbure en quantité déterminée :

Sont compris dans cette catégorie les appareils Dickerson, Leroy et Janson, Bon, Siouriou, Claussolles, Voigt, Gabe, Humilly, Exley, Ackermann, Deroy, O'Connor, Sloane, Chesnay et Pillion, Frachebois, Ragot.

Nous regrettons de ne pouvoir en faire qu'une énumération, mais le lecteur que cette industrie intéresse trouvera des documents très complets dans les ouvrages qui traitent plus spécialement du carbure de calcium et de l'acétylène (1).

Deuxième classe. — Gazogènes dans lesquels l'eau et le carbure sont contenus dans un même vase, et où le contact de ces deux corps se fait par dénivellation du liquide :

Gazogène et lampe Trouvé; appareils Allemano et Stemmer, d'Arsonval, Serpollet et Létang, Gabe.

Troisième classe. — Gazogènes dans lesquels

(1) G. PELLISSIER. — *L'éclairage à l'acétylène*; historique, fabrication, appareils, applications, dangers, G. Carré et C. Naud, éditeurs.

DE PERRODIL. — *Le carbure de calcium et l'acétylène; les fours électriques*. Préface de M. Henri MOISSAN, P. Vicq, Dunod et C^{ie} éditeurs.

F. DOMMER. — *L'incandescence par le gaz et le pétrole; l'acétylène et ses applications*, Bernard-Tignol, éditeur.

l'eau et le carbure sont dans des vases séparés, et où le carbure tombe dans l'eau en quantité déterminée :

Générateurs Dickerson, Campe, Maréchal, Lequeux, Bullier, Pictet, Beau et Bertrand-Taillet, Bonneau, Leroy et Janson.

Les lampes à acétylène, et les becs mêmes, présentent une grande variété ; il ne rentre pas dans notre programme d'en faire une description que les auteurs, cités au bas de la page précédente, ont présentée d'une façon très complète. Il en est de même pour tous les appareils qui se rapportent à l'acétylène.

TABLE DES MATIÈRES



	Pages
INTRODUCTION	5

PREMIÈRE PARTIE

TRAVAUX CALORIFIQUES DU COURANT ÉLECTRIQUE

CHAPITRE PREMIER

<i>Chaleur dégagée par un courant traversant une résistance métallique; température des conducteurs en fonction de la densité du courant.</i>	7
Résistances des métaux et alliages	7
Calcul du diamètre des conducteurs	10
Fils de cuivre sous moulure.	13
Fil non isolé	15

CHAPITRE II

<i>Chauffage électrique</i>	19
Appareils Carpentier	19
Appareils Duret de Kennedy.	20
Chaufferette électrique de M. Dewey.	21
Appareils Edwards L. Nichols	21
Poêle Inée	21
Appareils Schindler Jenny	22

	Pages
Poêle Dreys	23
Appareils Guillot et J. Ullmann	23
" Mitchel.	24
Chaufferette Dewey	24
Chaffoir Cook	25
Fer à repasser Jenkins.	25
Appareil Schindler-Jenny	25
Chaffoir Crompton et Dowing	25
Chauffage électrique des wagons	25
Recherches de M. Charpy	26
Recherches de M. Colin	31
Coût de l'énergie électrique.	41
Bouilloires	43
Appareils de chauffage pour appartements	44
Petits appareils divers	45
Application du procédé à la construction des résistances et des rhéostats	46
Application aux tramways	46
Remarque	47

DEUXIÈME PARTIE

L'ARC VOLTAÏQUE ET LES CHARBONS ÉLECTRIQUES

CHAPITRE PREMIER

<i>Arc voltaïque</i>	49
Historique	49
Recherches de MM. Louis Duncan, A. J. Rowland, et R. J. Dodd	52
Recherches de M. Violle	56
Intensité lumineuse de l'arc voltaïque	60

	Pages
Usure des charbons électriques dans l'arc voltaïque	61
Dureté, conductibilité	63
Eclat de la lumière	63
L'arc voltaïque en vase clos	64

CHAPITRE II

<i>Charbons électriques</i>	70
Historique	70
Charbons pour fours électriques	74
Applications des charbons à l'électrolyse	76
Fours Girard et Street	77

TROISIÈME PARTIE

LES FOURS ÉLECTRIQUES ET LEURS APPLICATIONS

Historique	85
Fours Siemens	90
" Louis Clerc	93
" Cowles	95
" Hérault	99
" Kiliani	101
" Minet	102
" Hall	106
<i>Fours électriques appliqués à l'électro-métallurgie de l'aluminium</i>	106
Fours Willson	106
" Schneller et Astfalck	108

176 LES FOURS ÉLECTRIQUES ET LEURS APPLICATIONS

	Pages
Fours Dhiel	109
" Douglas-Dixon	109
" Farmer	112
" Gérard-Lécuyer	113
" Borchers et Willson	115
<i>Fours appliqués à l'électro-métallurgie des métaux alcalins et alcalino-terreux</i>	115
Fours Grabau	115
" Borchers	116
" Vautin et Hulin	115
" Liebig	115
" Fischer	115
" Grätzel	115
" Troost	115
" Hiller	115
" Guntz	115
<i>Fours appliqués à la fusion et à la réduction des minerais</i>	115
Fours Johnson	116
" Pichon	116
" Menges	117
" Kleiner-Viertz	118
<i>Applications diverses</i>	119
Fours Rogerson-Statter et Stevenson	119
" Readmann	120
" Rouleaux	120
" Crompton	121
" Thomas Parker	122
" de Laval	123
" Ducretet	124
" Heibling	125

	Pages
<i>Fours appliqués à la fabrication des carbures métalliques</i>	125
Fours Borchers	126
" Moissan	127
" Bullier	129
" Willson	130
" Usines de Spray	130
" King	131
" Gearing	131
" Vincent	132
" King et Wyatt	133
" Regnoli, Lori	133
" Vincent	134
" Pictet	134
" Bouna et Le Royer, Patin	135

QUATRIÈME PARTIE

LE CARBURE DE CALCIUM ET L'ACÉTYLÈNE

CHAPITRE PREMIER

<i>Carbure de calcium</i>	137
Historique	137
Propriétés physiques et chimiques	140
Préparation	142
Énergie dépensée dans la production d'un kilogramme de carbure	143
Centres de fabrication	146
Prix de revient	147
Carbure de calcium du commerce	149

CHAPITRE II

	Pages
<i>Acétylène</i>	150
Historique	150
Propriétés chimiques	152
Propriétés physiques	153
Dangers et inconvénients	155
Explosibilité	156
Mélanges tonnants	159
Attaque des métaux	159
Toxicité	161
Impuretés	162
L'acétylène comme agent d'éclairage	163
Applications diverses	170
Appareils générateurs	170

Imprimerie BUSSIÈRE frères. — St-Amand (Cher).



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

THERMOCHEMIE.

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 Thermochemie 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 Thermochemie 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.

NOUVELLE ÉTUDE
SUR
LES TEMPÊTES,

CYCLONES, TROMBES OU TORNADOS,

Par H. FAYE,

Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes,

GRAND IN-8, AVEC 18 FIGURES; 1897. 4 FR. 50 C.

OEUVRES MATHÉMATIQUES
D'ÉVARISTE GALOIS

PUBLIÉES SOUS LES AUSPICES DE LA SOCIÉTÉ MATHÉMATIQUE
DE FRANCE,

AVEC UNE INTRODUCTION, par M. Émile PICARD,
Membre de l'Institut.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC PORTRAIT, FRONTISPICE; 1897. 3 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

SUR LES PROGRÈS

DE LA

THÉORIE DES INVARIANTS PROJECTIFS

Par **W.-Fr. MEYER**,

Professeur à l'École royale des Mines de Clausthal (Hanovre).

TRADUIT ET ANNOTÉ PAR **H. FEHR**, PRIVAT-DOCENT A L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE.

AVEC UNE PRÉFACE DE **MAURICE D'OCAGNE**,

Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique.

GRAND IN-8; 1897. — PRIX..... 4 FR.

Paraîtra le 1^{er} Octobre 1897:

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 465 FIGURES.

Prix pour les souscripteurs :

Broché..... 11 fr. | Relié cuir souple..... 14 fr.

Ces prix seront augmentés à l'apparition.
Les souscriptions sont reçues dès à présent.

LEÇONS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE

COURS PROFESSÉ A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES
ET COMPLÈTE SUIVANT LE PROGRAMME DE LA LICENCE ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

J. CHAPPUIS,

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

A. BERGET,

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

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Instruments de mesure. Chaleur. Avec 175 figures; 1891..... 13 fr.
TOME II : Électricité et Magnétisme. Avec 305 figures; 1891..... 13 fr.
TOME III : Acoustique. Optique; Electro-optique. Avec 193 figures; 1892... 10 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

TRAITÉ D'ANALYSE

PAR

ÉMILE PICARD,

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

QUATRE VOLUMES IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Intégrales simples et multiples. — L'équation de Laplace et ses applications. Développement en séries. — Applications géométriques du Calcul infinitésimal. 1891..... 15 fr.

TOME II : Fonctions harmoniques et fonctions analytiques. — Introduction à la théorie des équations différentielles. Intégrales abéliennes et surfaces de Riemann. 1893..... 15 fr.

TOME III : Des singularités des intégrales des équations différentielles. Étude du cas où la variable reste réelle et des courbes définies par des équations différentielles. Equations linéaires; analogies entre les équations algébriques et les équations linéaires. 1896..... 18 fr.

TOME IV : Équations aux dérivées partielles, (En préparation.)

Le premier Volume commence par les parties les plus élémentaires du Calcul intégral et ne suppose chez le lecteur aucune autre connaissance que les éléments du Calcul différentiel, aujourd'hui classiques dans les Cours de Mathématiques spéciales. Dans la première Partie, l'Auteur expose les éléments du Calcul intégral, en insistant sur les notions d'intégrale curviligne et d'intégrale de surface, qui jouent un rôle si important en Physique mathématique. La seconde Partie traite d'abord de quelques applications de ces notions générales; au lieu de prendre des exemples sans intérêt, l'Auteur a préféré développer la théorie de l'équation de Laplace et les propriétés fondamentales du potentiel. On y trouvera ensuite l'étude de quelques développements en séries, particulièrement des séries trigonométriques. La troisième Partie est consacrée aux applications géométriques du Calcul infinitésimal.

Les Volumes suivants sont consacrés surtout à la théorie des équations différentielles à une ou plusieurs variables; mais elle est entièrement liée à plus d'une autre théorie qu'il est nécessaire d'approfondir. Pour ne citer qu'un exemple, l'étude préliminaire des fonctions algébriques est indispensable quand on veut s'occuper de certaines classes d'équations différentielles. L'Auteur ne se borne donc pas à l'étude des équations différentielles; ses recherches rayonnent autour de ces centres.

COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par M. J. JAMIN.

QUATRIÈME ÉDITION, AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFOUNDUE

Par M. E. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET)..... 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 figures et 1 planche..... 5 fr.
2^e fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 fig. 5 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches... 5 fr.
3^e fascicule. — *Thermodynamique, Propagation de la chaleur*; avec 47 figures..... 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE, OPTIQUE. — 22 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 planches..... 4 fr.
3^e fascicule. — *Étude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur..... 14 fr.

TOME IV (1^{re} Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 figures et 1 planche..... 7 fr.
2^e fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 figures et 1 planche..... 6 fr.

(*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1^{er} fascicule; Tome II, 1^{er} et 2^e fascicules; Tome III, 2^e fascicule

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.

D^r H. EBERT,

PROFESSEUR ORDINAIRE DE PHYSIQUE A L'UNIVERSITÉ DE KIEL.

GUIDE POUR LE SOUFFLAGE DU VERRE,

TRADUIT SUR LA DEUXIÈME ÉDITION ET ANNOTÉ

Par P. LUGOL,

Professeur de Physique au Lycée de Clermont-Ferrand,
Chargé de conférences à la Faculté des Sciences.

Un volume in-18 jésus, avec 63 figures; 1897..... 3 fr.

LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE
ANNEXÉ A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE,

Par M. Eric GÉRARD.

Directeur de l'Institut Électrotechnique 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 production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à la télégraphie et à la téléphonie, à l'éclairage et à la métallurgie..... (Sous presse.)

MESURES ÉLECTRIQUES

LECONS PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE
ANNEXÉ A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE,

Par M. Eric GÉRARD.

Directeur de l'Institut Électrotechnique Montefiore, Ingénieur principal des Télégraphes,
Professeur à l'Université de Liège.

Grand in-8, 450 pages, 198 figures; cartonné toile anglaise... 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LES RADIATIONS NOUVELLES.

LES RAYONS X

ET LA PHOTOGRAPHIE A TRAVERS LES CORPS OPAQUES,

PAR

Ch.-Éd. GUILLAUME,

Docteur ès Sciences,

Adjoint au Bureau international des Poids et Mesures.

DEUXIÈME ÉDITION.

UN VOLUME IN-8 DE VIII-150 PAGES, AVEC 22 FIGURES ET 8 PLANCHES ;
1897. 3 fr.

Les **Rayons X** sont toujours à l'ordre du jour et notre curiosité est loin d'être satisfaite à leur égard. La première édition de l'Ouvrage de *M. Ch.-Éd. Guillaume* a été épuisée en quelques jours. La deuxième, qui vient de paraître, sera bien accueillie des Physiciens et des Photographes. L'Auteur fait connaître en détail la genèse de cette merveilleuse découverte, ainsi que les résultats qu'on en a tirés. Il décrit minutieusement le manuel opératoire à employer pour obtenir des résultats satisfaisants. Cette brochure servira de guide aux opérateurs désireux d'arriver sans trop de tâtonnements à de bons résultats.

Le côté théorique de la question n'est point négligé, et *M. Ch.-Éd. Guillaume* a rappelé un grand nombre d'expériences antérieures, de « faits contingents » sans lesquels les nouveaux phénomènes resteraient isolés et incompréhensibles.

L'Ouvrage in-8°, de 150 pages, contient de nombreuses reproductions en photogravure de clichés originaux obtenus par MM. J. Chapuis, V. Chabaud, Londe, Imbert et Bertin-Sans, qui ont bien voulu les prêter à l'Auteur.

L'ensemble forme un Volume qui intéressera tous ceux qui aiment à se « rendre compte » de tout de qui se passe autour des *Rayons X*.

ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE

EXERCICES DE PHYSIQUE

ET APPLICATIONS.

PRÉPARATOIRES A LA LICENCE.

Par **M. Aimé WITZ,**

Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille.

Un volume in-8, avec 114 figures ; 1889. 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE

COURS ÉLÉMENTAIRE
DE MANIPULATIONS DE PHYSIQUE,

Par M. Aimé WITZ,

Docteur ès Sciences, Ingénieur des Arts et Manufactures,
Professeur aux Facultés catholiques de Lille,

A L'USAGE DES CANDIDATS AUX ÉCOLES ET AU CERTIFICAT DES ÉTUDES
PHYSIQUES, CHIMIQUES ET NATURELLES. (P. C. N.)

2^e ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE. IN-8, AVEC 77 FIGURES; 1893. 5 FR.

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. Pas-sation 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.

2 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, TUILES, 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. Ferrements des charpentes et menuiseries. Paratonnerres. Clôtures métalliques. Menuiserie en fer. Serres et vérandas). — Grand in-8 de 626 pages avec 571 figures; 1894..... 20 fr.

ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par **M. AI. GOULLY,**

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. CUVERIE 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^o 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.

2 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. Carbylaminés. 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.

2 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 (1^{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.

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.

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE PAR LES PROCÉDÉS PELLICULAIRES,

Par M. George BALAGNY, Membre de la Société française de Photographie.
Docteur en droit.

2 volumes grand in-8, avec figures; 1889-1890.

On vend séparément :

TOME I : Généralités. Plaques souples. Théorie et pratique des trois développements au fer, à l'acide pyrogallique et à l'hydroquinone. 4 fr.

TOME II : Papiers pelliculaires. Applications générales des procédés pelliculaires. Phototypie. Contretypes. Transparents. 4 fr.

APPLICATIONS DE LA PHOTOGRAPHIE A LA MÉDECINE.

Par le Dr A. BURAI.

In-4, avec figures et 6 planches, dont 1 en couleurs; 1896. 4 fr.

CE QU'IL FAUT SAVOIR POUR RÉUSSIR EN PHOTOGRAPHIE.

Par A. COURRÈGES, Praticien.

2^e édition, revue et augmentée. Petit in-8, avec 1 planche en photocollographie; 1896. 2 fr. 50 c.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE.

Par M. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens. 32 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : Notions élémentaires. — Historique. — Épreuves négatives. — Principes communs à tous les procédés négatifs. — Épreuves sur albumine, sur collodion, sur gélatino-bromure d'argent, sur pellicules, sur papier. Avec 2 planches spécimens et 120 figures; 1886. 16 fr.

II^e PARTIE : Épreuves positives : aux sels d'argent, de platine, de fer, de chrome. — Épreuves par impressions photomécaniques. — Divers : Les couleurs en Photographie. Épreuves stéréoscopiques. Projections, agrandissements, micrographie. Réductions, épreuves microscopiques. Notions élémentaires de Chimie, vocabulaire. Avec 2 planches spécimens et 114 figures; 1888. 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 ALCEIDE DUCOS DU HAURON.

In-18 jésus de v-488 pages; 1897..... 6 fr. 50 c.

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 viendront 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.

Les 5 volumes se vendent ensemble..... 60 fr.

2^e Supplément (B). Un beau volume grand in-8 de 400 pages avec nombreuses figures, paraissant régulièrement chaque mois en 5 fascicules de 80 pages chacun à partir du 15 juillet 1897.

Prix pour les souscripteurs..... 10 fr.

Dès que le volume sera complet, le prix sera porté à..... 14 fr.

LA PRATIQUE DES PROJECTIONS.

Étude méthodique des appareils. Les accessoires. Usages et applications diverses des projections. Conduite des séances;

Par M. H. FORTIER.

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.

LES LUMIÈRES ARTIFICIELLES EN PHOTOGRAPHIE.

Étude méthodique et pratique des différentes sources artificielles de lumières, suivie de recherches inédites sur la puissance des photopoudres et des lampes au magnésium;

Par M. H. FORTIER.

Grand in-8, avec 19 figures et 8 planches; 1895..... 4 fr. 50 c.

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE INDUSTRIELLE,

THÉORIE ET PRATIQUE,

Par Ch. FÉRY et A. BURAI.

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.

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. H. FOURTIER, BOURGEOIS et BUCQUET.

Première Série ; 1892..... 4 fr.
Deuxième Série ; 1894..... 3 fr. 50 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.

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 DEVELOPPEMENTS MATHÉMATIQUES,

Par le D^r A. MIETHE.

Traduit de l'allemand par A. NOAILLON et V. HASSEIDTER.

Grand in-8, avec 72 figures et 2 Tableaux ; 1896..... 3 fr. 50 c.

NOTES SUR LA PHOTOGRAPHIE ARTISTIQUE.

TEXTE ET ILLUSTRATIONS

Par M. C. PUYO.

Plaquette de grand luxe, in-4^e raisin, avec 11 héliogravures de DUJARDIN et 39 phototypogravures dans le texte ; 1896..... 10 fr.

Il reste quelques exemplaires numérotés, sur japon, avec planches également sur japon..... 20 fr.

Une planche spécimen est envoyée *franco* sur demande.

DE LA PROPRIÉTÉ ARTISTIQUE EN PHOTOGRAPHIE

SPÉCIALEMENT EN MATIÈRE DE PORTRAITS,

[Par Édouard SAUVEL, Avocat au Conseil d'Etat et à la Cour de Cassation.

Un volume in-18 jésus ; 1897..... 2 fr. 75 c.

LA LINOTYPIC

ou Art de décorer photographiquement les étoffes pour faire des écrans, des éventails, des paravents, etc., menus photographiques ;

Par M. L. TRANCHANT, rédacteur en chef de la *Photographie*.

In-18 jésus ; 1896..... 1 fr. 25 c.

**TRAITÉ PRATIQUE
DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES.**

Par M. E. TRUTAT.

2 volumes in-18 jésus, avec 112 figures 5 fr.

On vend séparément :

I^{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 VERFASSER.

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.

MANUEL PRATIQUE D'ORTHOCHROMATISME.

Par M. Léon VIDAL.

In-18 jésus, avec figures et 2 planches, dont une en photocollographie et un spectre en couleur ; 1891..... 2 fr. 75 c.

NOUVEAU GUIDE PRATIQUE DU PHOTOGRAPHE AMATEUR.

Par M. G. VIEUILLE.

3^e édition, refondue et beaucoup augmentée. In-18 jésus, avec figures ; 1892..... 2 fr. 75 c.

MASSON & C^{ie}, Éditeurs

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, Paris

P. n^o 73.

EXTRAIT DU CATALOGUE

(Août 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 journellement 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^o 1. **L'Appendicite**, par le D^r FÉLIX LEGUEU, chirurgien des hôpitaux de Paris.

N^o 2. **Le Traitement du mal de Pott**, par le D^r A. CHIPAULT, de Paris.

N^o 3. **Le Lavage du Sang**, par le D^r LEJARS, professeur agrégé, chirurgien des hôpitaux, membre de la Société de chirurgie.

EN PRÉPARATION

L'Hérédité, par le D^r DEBIERRE.
Le Séro-diagnostic de la fièvre typhoïde,
par le D^r FERNAND WIDAL.

Le Myxœdème, par le D^r THIBIERGE.
L'Alcoolisme, par le D^r JAQUET.
Les Myélitites infectieuses, par le D^r ROGER.

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 (1^{er} août 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.
 HUGOUNEQ. — 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.

VIENT DE PARAÎTRE

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.
 TRIPIER et DEVIC. — Sémiologie du cœur et des vaisseaux.
 LERMOYET et BOULAY. — Sémiologie du nez, du pharynx nasal et du larynx.
 LEBRETON. — Sémiologie des voies respiratoires.
 LEGENDRE. — Sémiologie générale du tube digestif.

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 et III sont en vente (Août 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 IV, 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 (SOUS PRESSE)**

Maladies des bronches, du poumon, des plèvres, du médiastin. — Maladies du système nerveux.

**TOME V (EN PRÉPARATION)**

Appareil locomoteur. — Organes des sens. — Maladies de la peau. — Maladies du fœtus. — Table.

# 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, FORGUE  
GÉRARD-MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER, KIRMISSON  
LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON  
PEYROT, PONCET, QUÉNU, RICARD, 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.

Le tome IV paraîtra en Octobre prochain. Les volumes suivants seront publiés successivement et 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<sup>er</sup> OCTOBRE 1897

**TOME PREMIER**

Embryologie; Ostéologie; Arthrologie. Un volume grand in-8°  
avec 621 figures . . . . . 20 fr.

**TOME DEUXIÈME**

1<sup>er</sup> Fascicule : **Myologie**. Un volume grand in-8° avec 312 figures. 12 fr.  
2<sup>e</sup> Fascicule : **Angéiologie** (*Cœur et Artères*). Un volume grand  
in-8° avec 145 figures. . . . . 8 fr.  
3<sup>e</sup> Fascicule : **Angéiologie** (*Capillaires, Veines*). Un volume grand  
in-8° avec 75 figures . . . . . 6 fr.

**TOME TROISIÈME**

1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> Fascicules : **Système nerveux**. Deux volumes grand  
in-8° avec 407 figures . . . . . 22 fr.

**TOME QUATRIÈME**

1<sup>er</sup> Fascicule : **Tube digestif**. Un volume grand in-8°, avec  
138 figures. . . . . 12 fr.  
2<sup>e</sup> 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.*



## BIBLIOTHÈQUE D'HYGIÈNE THÉRAPEUTIQUE

DIRIGÉE PAR LE Professeur PROUST

VIENT DE PARAÎTRE

# L'Hygiène du Neurasthénique

PAR MM.

Le Professeur PROUST  
Membre de l'Académie de médecine,  
Médecin de l'Hôtel-Dieu.

Le D<sup>r</sup> Gilbert BALLET  
Professeur agrégé,  
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

1 volume in-16 de 282 pages, cartonné toile, tranches rouges, 4 fr.

L'hygiène, qui suffirait à prévenir la neurasthénie si elle était rigoureusement appliquée, suffit aussi le plus souvent à la guérir, quand la neurasthénie est susceptible de guérison. Sans vouloir proscrire la thérapeutique médicamenteuse, les auteurs ne craignent pas de dire que l'on a fait aux candidats neurasthéniques ou à ceux arrivés plus de mal avec les « drogues » qu'on ne leur a rendu de services. Nombreux sont les méfaits des médications dites toniques et reconstituantes, des hypnotiques variés, bref des produits pharmaceutiques dont sont surchargés les traitements plus ou moins bien avisés qui sont entrés dans la pratique journalière. Une bonne hygiène morale et physique, un régime alimentaire bien conçu, des conseils et des encouragements suggestifs, font d'habitude plus pour le neurasthénique qu'une polypharmacie souvent inutile et quelquefois nuisible. C'est dire assez l'intérêt de ce livre, à cette heure où, à la faveur des progrès de la civilisation, et du surcroît d'activité cérébrale qu'elle entraîne, les névroses sous toutes leurs formes sont devenues si communes.

VIENT DE PARAÎTRE

# Les Cures Thermales

Par G. DELFAU

Ancien interne des hôpitaux de Paris.

1 volume in-16 de 352 pages, cartonné toile, tranches rouges, 4 fr.

Dans un précédent volume de cette bibliothèque, M. Delfau avait décrit les localités thermales, il lui restait pour compléter son œuvre à étudier les cures thermales. Dans ce volume, l'auteur examine d'abord en détail les éléments des cures thermales : la boisson, les bains, les douches, les inhalations... aux points de vue particulièrement de leur mode d'emploi, de leurs actions physiologiques et de leurs effets thérapeutiques. Il envisage ensuite les agents des cures thermales, c'est-à-dire les eaux minérales successivement dans leur ensemble, puis dans les groupes établis d'après leurs propriétés médicales consacrées par la clinique. Enfin, il passe en revue les maladies chroniques tributaires des eaux minérales, états chroniques généraux et affections chroniques des divers organes, et s'attache à déterminer dans quelle mesure ces états morbides si variés peuvent bénéficier d'une cure thermale et quelle est celle dont ils sont justiciables. Pensant que la thérapeutique thermale ne doit pas se trainer dans la paléontologie médicale. M. Delfau a voulu que ce livre fût « au point », et, se gardant de toute exagération, il a tenu compte de toutes les réelles acquisitions récentes de la science.



---

**VIENT DE PARAÎTRE**

# La Cure d'altitude

PAR

Le D<sup>r</sup> Paul REGNARDMembre de l'Académie de médecine,  
Directeur-adjoint du Laboratoire de physiologie à la Sorbonne.

OUVRAGE ACCOMPAGNÉ DE 110 FIGURES &amp; DE 29 PLANCHES HORS TEXTE

1 volume grand in-8°, relié toile. . . . 15 fr.

---

Dans son ouvrage, le D<sup>r</sup> Regnard fait connaître d'abord les recherches de laboratoire exécutées en Allemagne et en Suisse pour expliquer le mécanisme de l'action thérapeutique des hauteurs. Il y joint les travaux français et les siens propres entrepris dans le même but. Puis il examine les recherches de physiologie pathologique exécutées sur place, sur les malades qui fréquentent les montagnes.

Dans une seconde partie, essentiellement pratique, il passe en revue les principales stations actuellement organisées pour recevoir convenablement les malades. Il a joint à sa description des cartes topographiques qui la rendent plus claire et de très nombreuses photographies représentant les régions dont il parle. Il a pensé qu'il n'était pas inutile au praticien qui recommande une station d'en avoir au moins une idée, s'il n'a pu la visiter lui-même.

---

**VIENT DE PARAÎTRE**

# Cure marine de la phtisie pulmonaire

PAR

Le D<sup>r</sup> F. LALESQUE

Ancien interne des hôpitaux, Lauréat de la Société de biologie.

1 volume in-8° avec planches, dessins, graphiques, tableaux. . . 6 fr.

---

Synthétiser dans une formule les conditions météorologiques d'une contrée pour en tirer les indications qui en découlent, telle fut l'ambition de l'auteur. Trois grands chapitres se divisent cet ouvrage. Le premier est consacré à l'étude du milieu (*climatologie*); le second étudie l'action de ce milieu sur l'organisme (*climatophysio*); le troisième énumère ses effets dans la phtisie pulmonaire (*climatothérapie*). La cure marine est établie par la valeur indéniable de son climat; le sol et les forêts que celui-ci peut comporter aident son action, et il résulte des développements dans lesquels entre l'auteur, que les avantages du voisinage de l'Atlantique se doublent, pour la bande littorale girondine et landaise, des avantages de la présence d'une vaste forêt de pins maritimes : la climatothérapie y trouvant à la fois les ressources d'une cure marine et forestière.

VIENT DE PARAÎTRE

# La Défense de l'Europe contre la Peste

ET LA CONFÉRENCE DE VENISE DE 1897

PAR

Le Professeur PROUST

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE, MÉDECIN DE L'HOTEL-DIEU  
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES SERVICES SANITAIRES*Un volume in-8° avec figures et cartes en noir et en couleurs. . . 9 fr.*

Cet ouvrage a pour but de répandre les connaissances scientifiques sur la peste, afin de donner à l'opinion les moyens de se rendre compte de ce que l'on doit faire pour empêcher le fléau, endémique en Extrême-Orient, de pénétrer en Egypte, dans la Méditerranée et en Europe, et cela sans apporter aucune entrave sérieuse au commerce et à la navigation. C'est une relation exacte de ce qui s'est passé à la conférence de Venise de 1897, l'exposé de la discussion telle qu'elle fut conduite, le récit des luttes que les représentants français eurent à soutenir pour triompher des oppositions de l'Angleterre et de la Turquie ; mais c'est encore et surtout une sorte de monographie de l'histoire internationale et prophylactique de la peste, enrichie de toutes les données que l'étude des épidémies précédentes a permis d'y ajouter, des faits nombreux dont la bactériologie l'a si heureusement accrue, et aussi des moyens à mettre en œuvre en pareille occurrence. On lira aussi avec intérêt le chapitre consacré au traitement prophylactique et curatif de la peste, à la sérothérapie et à la vaccination antipesteuse de Yersin. Une bibliographie très riche, des figures et des cartes très claires complètent ce volume qui vient bien à son heure.

VIENT DE PARAÎTRE

## Leçons sur les Bactéries pathogènes

FAITES A L'HOTEL-DIEU ANNEXE

PAR

P. DUFLOCQ

*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 PARAÎTREPrécisd'Obstétrique

PAR

**A. RIBEMONT-DESSAIGNES**

Professeur agrégé de la Faculté de médecine de Paris,  
Accoucheur de l'hôpital Beaujon.

ET

**G. LEPAGE**

Ancien chef de clinique obstétricale à la Faculté de médecine,  
Accoucheur des hôpitaux.

**TROISIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE**

avec 590 figures dans le texte dont 437 dessinées par A. RIBEMONT-DESSAIGNES

1 volume grand in-8° de 1396 pages, relié toile. . 30 fr.

Parue en janvier 1896, la seconde édition du *Précis d'Obstétrique* était épuisée dès le mois de novembre de la même année. Les auteurs ont tenu à revoir entièrement cette troisième édition et à la mettre au courant des travaux récents des accoucheurs français et étrangers. Les additions nombreuses qu'ils ont faites auraient donné à ce volume des proportions excessives, si l'on n'avait employé des caractères plus fins et si l'on n'avait diminué les dimensions de plusieurs figures. 80 figures ont été ainsi remaniées. Parmi celles qui ont été ajoutées, nous devons en signaler un certain nombre qui ont trait au développement de l'œuf et à la production des monstres, qui accompagnent un court résumé de tératologie placé à la fin du volume. Enfin on s'est en outre efforcé d'éliminer le plus possible, les figures schématiques et de ne prendre que des figures reproduisant des dessins d'après nature et des photographies. C'est seulement à l'aide de ces deux procédés que l'iconographie peut prêter à l'enseignement écrit un secours vraiment scientifique.

Tout en donnant sur plusieurs questions importantes de pratique obstétricale leur opinion personnelle, les auteurs ont continué à s'inspirer le plus possible de l'enseignement des professeurs S. Tarnier et A. Pinard.



VIENT DE PARAÎTRE

# Précis de Géographie économique

Par **MARCEL DUBOIS**

PROFESSEUR DE GÉOGRAPHIE COLONIALE A LA FACULTÉ DES LETTRES DE PARIS  
MAÎTRE DE CONFÉRENCES  
A L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE JEUNES FILLES DE SÈVRES

et **J.-G. KERGOMARD**

PROFESSEUR AGRÉGÉ D'HISTOIRE ET GÉOGRAPHIE AU LYCÉE DE TOURS

*Un volume in-8° de 844 pages . . . . . 8 fr.*

Ce nouveau *Précis de Géographie économique* s'adresse à tous ceux qu'intéressent les graves problèmes de répartition et d'échange de la richesse. Les auteurs n'ont négligé aucun labeur pour donner un tableau exact des faits d'ordre économique, pour en faciliter l'interprétation impartiale. Ils ont surtout essayé de donner une idée juste de la condition de chaque peuple, de ses progrès, de ses tendances.

Faite dans l'esprit le plus impartial, à l'abri des théories pures et des systèmes, avec le seul désir de servir les intérêts de notre pays, cette étude mettra aux mains de ceux qui étudient ou agissent des renseignements nombreux, exacts et commentés avec soin.

---

# Leçons de Géographie physique

---

Par **Albert de LAPPARENT**

Professeur à l'École libre de Hautes Etudes  
Ancien Président de la Commission centrale de la Société de Géographie

*1 volume in-8° contenant 117 figures dans le texte  
et une planche en couleurs. . . . . 12 fr.*

Dans les derniers jours de 1895, lors de la discussion du budget devant le Sénat, M. Bardoux appelait l'attention du Ministre de l'Instruction publique sur la situation actuelle de l'enseignement de la Géographie physique. L'honorable sénateur constatait qu'il n'y avait aujourd'hui en France qu'un seul cours complet sur la matière, celui que professait M. de Lapparent à l'École libre de Hautes Etudes. C'est ce cours que nous venons offrir au public. Après plusieurs années d'essais, l'auteur croit avoir réussi à unir en un véritable corps de doctrines ces intéressantes considérations, relatives à la genèse des formes géographiques, dont on peut dire qu'il a été en France le plus persévérant initiateur.



VIENT DE PARAÎTRE

# La Céramique du Bâtiment

Par **Léon LEFÈVRE**

INGÉNIEUR (E. I. R.)

PRÉFACE DE **J.-C. FORMIGÉ**

Architecte du Gouvernement et de la Ville de Paris.

1 volume grand in-8° de 500 pages avec 5 planches hors texte,  
950 figures dans le texte et de nombreux devis, 15 fr.

Ce livre rendra de grands services aux fabricants de produits céramiques : briques, tuiles, tuyaux, terres cuites émaillées, carreaux ordinaires et incrustés, mosaïques en grès, faïences et grès architecturaux. Les indications techniques sur la fabrication, le séchage, la cuisson des produits céramiques seront appréciées par tous les fabricants. La céramique décorative fait l'objet de plusieurs chapitres importants où l'on trouve les procédés généraux de décoration des produits céramiques. A ce point de vue, il sera consulté avec fruit par les architectes.

# 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**

Ingénieur (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*.

---

VIENT 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

# Éléments de Chimie physiologique

Par **Maurice ARTHUS**

Professeur de physiologie et de chimie physiologique à l'Université de Fribourg (Suisse)

## DEUXIÈME ÉDITION, REVUE ET CORRIGÉE

1 vol. in-16 diamant, avec figures dans le texte. Cartonné toile. 4 fr.

Dans la préface de la première édition, l'auteur disait : « Actuellement, il n'existe pas d'ouvrage qui, intermédiaire aux traités de chimie physiologique et aux traités de physiologie, contienne toutes les notions chimiques et rien que les notions chimiques nécessaires à l'étudiant en physiologie. Je me suis proposé de combler cette lacune. »

Le succès a répondu à l'attente, puisque la première édition a été épuisée en moins de deux ans. Dans cette seconde édition, le plan général et l'étendue de la première ont été conservés. On s'est borné à rectifier les quelques erreurs de détail qui s'étaient glissées dans le premier travail, et à introduire les modifications rendues nécessaires par le développement de la science.



# 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 avions 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 REFOUNDUE

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'Électricien

PAR

**E. HOSPITALIER**

Ingénieur des Arts et Manufactures

Professeur à l'École 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'École 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.

# 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. GOUILLY. — Air comprimé ou raréfié, — Géométrie descriptive (3 vol.).  
DWELSHAUVERS-DERY. — Machine à vapeur. — I. Étude expérimentale calorimétrique. — II. Étude expérimentale dynamique.  
A. MADAMEY. — 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  
AIMÉ WITZ. — I. Thermodynamique. — II. Les moteurs thermiques.  
LINDET. — La bière.  
TH. SCHLESING fils. — Chimie agricole.  
SAUVAGE. — Moteurs à vapeur.  
LE CHATELIER. — Le grison.  
DUDEBOUT. — 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.  
LECOMTE. — Les textiles végétaux.  
DE LAUNAY. — I. Les gites métallifères. — II. Production métallifère.  
BERTIN. — État 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.  
GUILLAUME. — 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.  
SINIGAGLIA. — 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.  
ACVARD. — I. Séméiologie génitale. — II. Menstruation et fécondation.  
G. WEISS. — Electro-physiologie.  
BAZY. — Maladies des voies urinaires. (2 vol.).  
TROUSSEAU. — Hygiène de l'œil.  
FERRÉ. — Épilepsie.  
LAVERAN. — Paludisme.  
POLIN et LABIT. — Aliments suspects.  
BERGONIE. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine.  
MEGNIN. — 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.  
CHARRIN. — 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.  
LAPERRONNE (DE). — Maladies des paupières et des membranes externes de l'œil.  
KÆHLER. — Applications de la photographie aux Sciences naturelles.  
BRAUREGARD. — Le microscope.  
LESAGRÉ. — Le choléra.  
LANNELONGUE. — La tuberculose chirurgicale.  
CORNEVIN. — Production du lait.  
J. CHATIN. — Anatomie comparée (4 v.).



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.  
 DUDEBOUT et CRONEAU. — Appareils accessoires des chaudières à vapeur.  
 C. BOURLET. — Bicycles et bicyclettes.  
 H. LÉAUTÉ et A. BERARD. — Transmissions par câbles métalliques.  
 DE LA BAUME PLUVINEL. — La théorie des procédés photographiques.  
 HATT. — Les mardes.  
 H. LAURENT. — I. Théorie des jeux de hasard. — II. Assurances sur la vie.  
 C. 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.  
 NIEWENGLOWSKI. — Applications scientifiques de la photographie.  
 ROCQUES (X.). — Analyse des alcools et eaux-de-vie.  
 MOESSARD. — Topographie.  
 BOUSSAULT. — Calcul du temps de pose en photographie.  
 SEGURA. — 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 OUVARD. — Le nickel.  
 URBAIN. — Les succédanés du chiffon en papeterie.  
 LOPPE. — I. Accumulateurs électriques. — II. Transformateurs de tension.  
 ARIÉS. — Chaleur et énergie.  
 FABRY. — Piles électriques.  
 HENRIET. — Les gaz de l'atmosphère.  
 DUMONT. — Electromoteurs.  
 MINET (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-périosteales. — II. Résections des grandes articulations.  
 LÉTULLE. — Pus et suppuration.  
 CRITZMAN. — Le cancer.  
 ARMAND GAUTIER. — La chimie de la cellule vivante.  
 SÉGLAN. — Le délire des négations.  
 STANISLAS MEUNIER. — Les météorites.  
 GREHANT. — 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. — Oceanographie pratique.  
 HOUBAILLE. — Méteorologie agricole.  
 VICTOR MEUNIER. — Sélection et perfectionnement animal.  
 HENOCQUE. — Spectroscopie du sang.  
 GALIPPE ET BARRE. — Le pain (2 v.).  
 LE DANTEC. — I. La matière vivante. — II. La Bactériologie carbonreuse. — III. La Forme spécifique.  
 L'HOTE. — Analyse des engrais.  
 LARBALETIER. — Les tourteaux — Résidus industriels employés comme engrais (2 vol.).  
 LE DANTEC ET BERARD. — Les sporozoaires.  
 DEMMLER. — Soins à donner aux malades.  
 DALLEMAGNE. — Études sur la criminalité (3 vol.).  
 BRAULT. — Des artérites (2 vol.).  
 RAVAZ. — Reconstitution du vignoble.  
 ERLERS. — L'Ergetisme.  
 BONNIER. — L'oreille (3 vol.).  
 DESMOULINS. — Conservation des produits et denrées agricoles.  
 LOVERDO. — Le ver à soie.  
 DUBREUILH et BEILLE. — Les parasites animaux de la peau humaine.  
 KAYSER. — Les levures.  
 COLETT. — Troubles auditifs des maladies norvégiennes.  
 GASSER. — Analyse des eaux potables