

Les fours sont disposés par batteries de six chambres réunies deux par deux ; les dimensions des chambres sont les suivantes :

Longueur	5,50 m.
Largeur moyenne	0,475 —
Hauteur	2,80 —

Les portes des fours réalisent une fermeture étanche à l'aide d'un joint fer sur amiante refroidi par circulation d'eau.

La charge de chaque four est de 5,75 tonnes de charbon broyé, introduite à la partie supérieure par deux trémies de chargement telles que H. La durée de la distillation est de vingt-quatre heures. L'expulsion du coke se fait au moyen d'une défourneuse électrique, qui se déplace sur le devant des fours, comme nous l'avons vu pour les fours à coke. Les gazogènes sont chargés toutes les trois heures avec du coke.

En distillant du charbon anglais à 13,66 p. 100 de cendres, on obtient avec ces fours un rendement moyen de 296 mètres cubes de gaz par tonne de charbon. Il faut de plus compter 153 kilogrammes de coke sec ou 167 kilogrammes de coke humide pour le fonctionnement du gazogène. Le coke produit présente l'aspect du coke métallurgique, bien que moins dur.

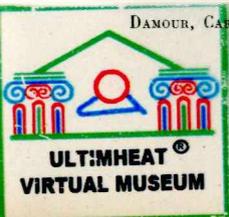
Le principal avantage des fours à chambres réside dans l'économie de main-d'œuvre qu'il procure. A l'usine de Padoue, où l'on a installé depuis quelques années des fours horizontaux du système Klönne, 9 hommes seulement assurent le service de quatre fours à quatre chambres, produisant 20 000 mètres cubes par jour ; il en fallait 65 pour la même production sur l'ancienne installation.

Par contre on reproche à ces fours de donner un gaz de composition très variable, oscillant par exemple, pour l'usine de Padoue, de 15 p. 100 au-dessus à 40 p. 100 au-dessous de la composition normale, d'où la nécessité d'employer de très grands gazomètres. De plus la poussée de la défourneuse produirait dans les parois des chambres des fissures par où les gaz de la combustion viendraient se mélanger aux gaz distillés et réciproquement, obligeant à des réparations fréquentes¹.

ÉPURATION DU GAZ

Le gaz destiné à l'éclairage doit être épuré avec beaucoup plus de soin que les gaz destinés au chauffage, de manière à éviter les mau-

¹ A. Grebel, *Gén. Civ.*, 56, 469 et 501 ; 1910. — B. Krafft, *ibid.*, 59, 44 ; 1911. — 37^e Congrès de la Société Technique du gaz, *ibid.*, 57, 190 ; 1910. — *Le Gaz*, 54, 363 ; 1911.



vaises odeurs, les dégagements de produits sulfurés et les condensations de goudrons dans les conduites. Cette opération est assez délicate, car il faut bien se garder d'enlever au gaz la totalité de ses produits condensables : son pouvoir éclairant provient pour la majeure partie des vapeurs des produits volatils qu'il entraîne avec lui : benzène et homologues, naphthalène, etc. Au contraire on devra faire disparaître autant que possible les produits ammoniacaux, les produits sulfurés ou cyanés, enfin les goudrons, c'est-à-dire les parties les plus lourdes des produits liquides entraînés. Une partie de ces goudrons s'écoule d'elle-même avec les eaux ammoniacales dès qu'on refroidit le gaz à la sortie des cornues ou des fours dans le *barillet* et dans les *réfrigérants*. Mais une partie importante reste encore en suspension, non pas à l'état de vapeurs, mais sous forme de petites bulles ou vésicules extrêmement ténues dont il est pratiquement très difficile de priver le gaz.

On a longtemps employé à cet effet des *scrubbers* ou colonnes filtrantes où le gaz devait circuler à travers des morceaux de coke arrosés d'eau. Mais les pores et les intervalles les plus fins sont rapidement bouchés par le goudron déposé, de sorte qu'au bout de peu de temps le lavage du gaz se fait mal.

On s'est servi ensuite d'appareils fondés sur un principe un peu différent imaginé par Pelouze et Audoin : lorsqu'un courant gazeux, contenant en suspension des particules goudronneuses, vient frapper avec une certaine vitesse un obstacle fixe, les particules liquides se collent sur l'obstacle tandis que le gaz est dévié de sa direction.

L'*épurateur Pelouze et Audoin* se compose de plaques de tôles perforées, disposées parallèlement à 1 et demi ou 2 millimètres de distance, et de telle sorte que les parties pleines de l'une soient situées en regard des parties perforées de l'autre. Ces tôles forment les parois latérales d'une sorte de cage ou de cloche que doit traverser le gaz. Il y a en réalité, pour chaque paroi, deux séries de plaques perforées, à une distance l'une de l'autre de quelques centimètres, de manière à produire deux épurations successives.

Les *laveurs Standard* sont employés pour enlever au gaz les dernières traces de produits ammoniacaux solubles dans l'eau. Ils se composent d'un cylindre horizontal en fonte divisé par des cloisons verticales perpendiculaires à l'axe en une série de compartiments. Un arbre traversant le cylindre porte dans chaque compartiment une série de disques de tôles perforés, placés à une faible distance les uns des autres. Ces disques sont à moitié plongés dans l'eau, et un



mouvement de rotation de l'axe fait varier peu à peu les parties immergées. Le gaz est obligé de circuler entre les lames de tôles humectées d'eau, et l'on obtient ainsi un lavage parfait avec un minimum de place et de consommation d'eau.

Nouveaux appareils d'épuration. — On a imaginé dans ces dernières années une nouvelle méthode d'épuration, conduisant à des appareils beaucoup plus simples et moins encombrants, et qui paraît devoir se substituer rapidement aux procédés classiques : elle revient en définitive à se servir du goudron lui-même pour laver le gaz et le débarrasser des particules en suspension.

Dans les *appareils Otto*, le goudron chaud est conduit au moyen de pompes dans un injecteur qui le projette dans le gaz à épurer ; l'appareil est disposé un peu comme une trompe à eau, il assure ainsi un contact intime du gaz et du liquide, et élimine rapidement les brouillards de matières goudronneuses.

Le *condenseur Klönne* est encore plus simple : il est constitué par un immense réfrigérant vertical, de forme cylindrique, dont le diamètre atteint 3, 50 m. et la hauteur 30 mètres. Le gaz est introduit dans le bas de l'appareil, où il s'élève très lentement à cause de sa grande capacité, en se refroidissant progressivement au contact de l'air ambiant et abandonnant les goudrons et les hydrocarbures condensables, qui retombent en pluie dans le cylindre et assurent le lavage du gaz ascendant, en même temps qu'ils subissent à son contact une véritable distillation fractionnée. Arrivé à la partie supérieure, le gaz épuré redescend par un tuyau au milieu du cylindre pour ressortir vers le bas à côté de l'ouverture d'entrée. Quelques diaphragmes en toiles métalliques assurent une meilleure division du courant ascendant. Le goudron condensé, étant recueilli vers le bas, se trouve porté sensiblement à la température d'entrée du gaz, soit vers 60°, de sorte qu'il ne reste presque pas de benzol en solution ; par contre, la naphthaline, si gênante pour l'entretien des canalisations, est complètement retenue. A l'usine à gaz de La Haye, où ce système est installé, on a constaté que tous les autres condenseurs de goudrons pouvaient être supprimés après le condenseur Klönne¹.

Ces nouveaux procédés d'épuration paraissent devoir entraîner parallèlement l'absorption directe de l'ammoniaque par l'acide sulfurique concentré, déjà installés dans un grand nombre de cokeries (voir

¹ *Le Gaz*, 54, 207, 1911 ; voyez aussi *Compte Rendu du 27^e Congrès de la Société technique du gaz*, *Gén. Civ.*, 57, 190 : 1910.



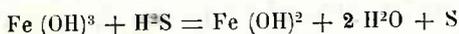
plus haut p. 366) qui réaliserait une économie considérable de main-d'œuvre et d'installation dans les usines à gaz. En somme, actuellement, et suivant la remarque de Hilgenstock, ces usines mettent à profit les procédés adoptés par les cokeries, après leur avoir servi de modèles pendant quarante ans.

Extracteurs. — On appelle *extracteurs* ou *exhausteurs* des appareils destinés à faciliter la circulation du gaz à travers les appareils d'épuration ; ceux-ci créent toujours une certaine pression, qui doit être aussi faible que possible afin de diminuer les fuites possibles dans les cornues de distillation.

Les extracteurs se placent entre les condenseurs et les épurateurs physiques proprement dits. Ils sont réalisés soit par de véritables pompes aspirantes et foulantes, soit par des injecteurs à vapeur fonctionnant d'après le principe des trompes à eau ou des injecteurs Giffard : extracteurs Körting ou Bourdon.

Épuration chimique. — L'épuration chimique a pour but d'absorber l'hydrogène sulfuré et les produits cyanés. Elle s'effectue au moyen d'un mélange pulvérulent dont on remplit de vastes caisses peu profondes en tôle, à fermeture hydraulique, que le gaz doit traverser.

La matière employée, ou *masse de Laming*, est un mélange de sesquioxyde de fer hydraté et de sulfate de chaux, obtenu en précipitant du sulfate ferreux par de la chaux éteinte et exposant le produit à l'air. Il agit comme oxydant sur l'hydrogène sulfuré qu'il transforme en soufre :



L'hydrate ferrique est simplement transformé en hydrate ferreux, de sorte que quand la masse est épuisée, il suffit de l'exposer à l'air de manière à peroxyder l'hydrate ferreux pour lui faire recouvrer son pouvoir épurant.

Cependant les impuretés cyanées du gaz d'éclairage réagissent de leur côté sur l'oxyde ferrique en donnant des combinaisons complexes, ferrocyanures et ferricyanures, d'où l'oxyde ferrique ne peut plus être régénéré par l'action de l'air. Aussi doit-on au bout de quelque temps renouveler la masse épuisée, que l'on peut traiter alors comme source de soufre et de cyanures.



Composition. — La composition moyenne du gaz de la ville de Paris est la suivante :

Hydrogène	50
Méthane	33
Autres hydrocarbures	4
Oxyde de carbone	8
Acide carbonique	2
Azote	3
	100

La densité de ce gaz est d'environ 0,4; son pouvoir calorifique moyen est d'environ 5 250 calories par mètre cube à 15° et 760 mm.⁴ Il exige pour sa combustion complète 5,25 fois son volume d'air, soit environ 13 fois son poids.

Le pouvoir éclairant du gaz de houille provient pour la plus grande part, ainsi que nous l'avons dit, des vapeurs d'hydrocarbures liquides ou benzols. On peut l'augmenter artificiellement quand il devient inférieur à la limite fixée par les contrats², en introduisant une proportion plus forte de ces vapeurs, au moyen d'un barbotage convenable. D'ailleurs ce pouvoir éclairant ne présente plus beaucoup d'intérêt à l'heure actuelle, où l'on emploie presque exclusivement les becs à incandescence : il serait plus rationnel d'exiger un pouvoir calorifique déterminé.

§ 2. — LE GAZ D'HUILE

Le gaz d'huile se prépare en distillant à haute température, dans des cornues en fonte portées au rouge, des huiles lourdes minérales, huiles de schiste, de lignite, de pétrole ou de goudron. On peut également employer des huiles d'origine végétale ou animale.

Le gaz d'huile a été employé exclusivement pour l'éclairage des wagons, à cause de son pouvoir éclairant très élevé, et qui de plus n'est pas altéré par la compression, car il est dû à des carbures éthyléniques légers, non condensables, tandis que celui du gaz de houille provient surtout des vapeurs de benzine qui se condensent quand on comprime le gaz pour l'emmagasiner dans les réservoirs ; ces avantages ne subsistent plus aujourd'hui où l'on a substitué partout aux anciens becs les manchons incandescents.

⁴ Voir plus haut d'autres analyses de gaz de houille, p. 274.

² Cette limite correspond le plus souvent en France à 105 litres par carcel-heure. le gaz était brûlé dans un bec Bengel du modèle décrit par Dumas et Regnault.



Le gaz d'huile est aussi employé pour la carburation du gaz à l'eau, afin de le rendre propre à l'éclairage; mais dans ce cas il n'est pas préparé séparément; on le mélange avec le gaz à l'eau au moment même de sa production (voir p. 426).

Voici la composition moyenne d'un gaz d'huile :

Hydrogène.	41
Carbures forméniques	44
— éthyléniques	35
Oxyde de carbone	3
Acide carbonique	4
Azote.	traces.
Hydrogène sulfuré	traces.
Divers.	3
	<hr/> 100

§ 3. — LE GAZ RICHÉ

Le gaz Riché est un gaz combustible destiné au chauffage et préparé par la distillation du bois suivant un procédé spécial dit de la *distillation renversée*. Nous avons vu à propos de la fabrication du charbon de bois que le rendement en charbon est d'autant plus faible et le rendement en gaz plus considérable que la distillation a été effectuée à une température plus élevée, ces variations s'expliquant par la décomposition à haute température des produits volatils condensables par le charbon.

L'originalité du procédé de M. Riché réside précisément dans l'utilisation de ces phénomènes à la préparation d'un gaz riche ne contenant aucun produit condensable et ne nécessitant par suite aucune épuration physique ou chimique.

La préparation du gaz Riché s'effectue dans des cornues spéciales en fonte, formées de deux parties (fig. 83) : la cornue proprement dite ou tête de cornue, AB, placée verticalement, et reposant par son propre poids dans une gorge du pied de cornue C, garnie d'un mastic de silicate de soude et d'amiante.

Les gaz chauds issus d'un foyer F, et traversant les ouvertures E, circulent autour de la base de la cornue, qui se trouve portée au rouge, et s'échappent à la partie supérieure en H vers le carneau J. La partie A est portée normalement au rouge cerise : un regard R, muni d'une plaque de mica, permet de surveiller son aspect et de régler sa température. Cette partie A est remplie de charbon provenant d'une opération antérieure. Le bois à distiller est introduit dans le haut de la cornue en B; il se trouve donc chauffé peu à



peu par les parois de la cornue qui atteignent à peine le rouge sombre : les produits volatils distillent lentement et sont forcés pour s'échapper de venir passer sur le charbon incandescent en A. C'est dans cette zone que s'accomplit la transformation : la vapeur d'eau est transformée en gaz à l'eau, et les produits condensables carbonés, acide acétique et goudrons, en hydrogène, oxyde de carbone et méthane. Les gaz produits s'échappent à travers le tube recourbé L, et barbotent dans l'eau du barillet K, qui isole la cornue et empêche toute rentrée d'air dans les conduites quand on ouvre le couvercle pour introduire une nouvelle charge de bois ou la porte M pour retirer le charbon en trop grande quantité.

On réunit autour du foyer F un certain nombre de cornues, de manière à mieux utiliser la chaleur.

Voici la composition moyenne du gaz produit, en volumes :

Acide carbonique.	18
Oxyde de carbone.	22
Méthane.	15
Hydrogène.	45
	100

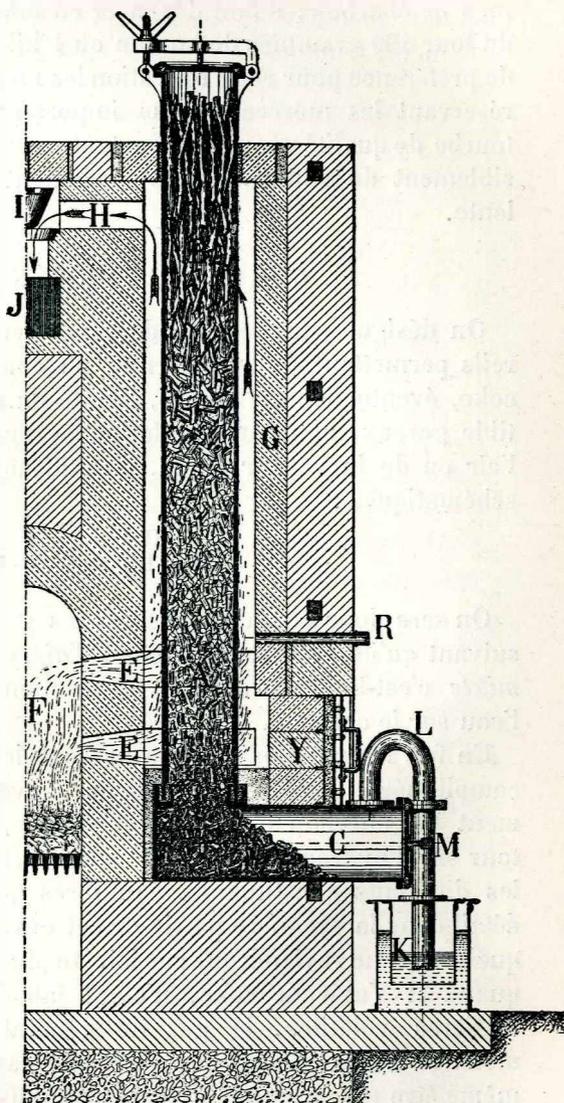


Fig. 83. — Coupe d'une cornue Riché.

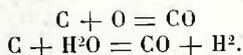
Le pouvoir calorifique par mètre cube est de 3000 calories. Il en résulte qu'un mètre cube de gaz Riché produit le même effet calorifique que 600 litres de gaz de houille en moyenne.



Chaque cornue Riché fournit par heure de 7 à 9 mètres cubes de gaz. On peut compter sur un rendement de 700 à 800 litres de gaz par kilogramme de bois distillé, avec un résidu d'environ 200 grammes de charbon ; il faut dépenser en même temps pour le chauffage du four 400 grammes de houille ou 1 kilogramme de bois. On utilise de préférence pour cette opération les menus déchets ou la sciure, en réservant les morceaux plus importants pour la distillation. La tourbe de qualité moyenne, surtout quand elle ne renferme pas sensiblement de soufre, donne également un gaz de qualité excellente.

C. — LES GAZ DE GÉNÉRATEURS

On désigne sous le nom de générateurs ou gazogènes les appareils permettant de transformer un combustible solide, houille ou coke, éventuellement tourbe, lignite ou même bois, en un combustible gazeux, non par distillation pyrogénée, mais par l'action de l'air ou de la vapeur d'eau, en utilisant l'une des deux réactions schématiques :



On sera donc conduit à classer les gazogènes en trois catégories suivant qu'ils produisent le *gaz à l'air*, ou le *gaz à l'eau*, ou le *gaz mixte* c'est-à-dire provenant de l'action simultanée de l'air et de l'eau sur le carbone.

En fait les réactions qui se passent dans les gazogènes sont plus compliquées, l'oxyde de carbone pouvant se dédoubler partiellement en charbon et acide carbonique, et celui-ci réagir à son tour sur l'hydrogène, de sorte qu'il s'établira des équilibres entre les différents constituants, équilibres qui ont été déjà étudiés en détail dans la première partie de cet ouvrage (voir p. 54), et sur lesquels nous ne reviendrons pas ici. De plus les charbons traités, même quand il s'agit de coke, n'étant jamais totalement exempts de matières volatiles, le gaz de générateur se trouvera toujours mélangé d'une certaine proportion de gaz de distillation, qui pourra même être assez grande avec les combustibles gras ou bitumineux, et devenir gênante à cause des goudrons formés en même temps, à tel point que ces combustibles ont été considérés pendant longtemps comme impropres à la gazéification, et ne peuvent être utilisés aujourd'hui que dans des appareils spécialement construits.



Enfin les charbons et l'air nécessaire à la combustion étant toujours plus ou moins humides, le gaz à l'air renferme toujours un peu d'hydrogène, de même que les appareils destinés à produire le gaz à l'eau laissent toujours entrer en même temps des quantités plus ou moins grandes d'air. Néanmoins les trois divisions que nous avons adoptées répondent à des types d'appareils différents, bien que les transitions existent ; nous les conserverons donc et nous étudierons successivement :

- Les gazogènes pour gaz à l'air ;
- Les gazogènes pour gaz à l'eau ;
- Les gazogènes à gaz mixte.

Les gazogènes les plus anciennement construits appartiennent au premier type. Le premier appareil de ce genre fut imaginé par Bischoff en 1839 pour gazéifier la tourbe en vue du chauffage d'un four à souder. En 1842, le lignite fut à son tour employé en Styrie ; ce n'est qu'en 1860 que l'on utilisa la houille, pour le chauffage des premiers fours à régénération de chaleur que venaient d'imaginer les frères Siemens. Entre temps Bischoff avait reconnu, en 1843, l'avantage que l'on avait à mélanger à l'air d'alimentation une certaine quantité de vapeur d'eau.

Les premiers essais d'utilisation du gaz de gazogène dans les moteurs à explosion datent de 1862, avec le professeur Arbos de Barcelone, mais ce ne fut qu'en 1878 que ce procédé devint réellement pratique, grâce aux gazogènes Dowson employant les combustibles anthraciteux.

Plus tard Bénier eut l'idée d'alimenter directement les moteurs sur les gazogènes, supprimant le gazomètre et créant les gazogènes par aspiration¹.

De nos jours les principaux perfectionnements apportés aux gazogènes ont eu pour but de permettre l'emploi des combustibles gras ou bitumineux, ou encore de ceux de qualités inférieures, contenant beaucoup de cendres.

Enfin nous devons mentionner comme un gazogène spécial le haut fourneau, qui produit une énorme quantité de gaz inflammables, depuis longtemps déjà employés au chauffage de l'air soufflé, et dont on utilise maintenant l'excès d'énergie disponible dans de puissants moteurs à explosion.

¹ Letombe, *Bull. Soc. Ing. Civ.*, 61, 51 ; 1908.



§ 1. — GAZOGÈNES POUR GAZ A L'AIR

Dans ces gazogènes, la formation de l'oxyde de carbone se fait en réalité en deux temps : au voisinage de la grille, au contact de l'air en excès, il se produit de l'anhydride carbonique, et ce n'est qu'ultérieurement que celui-ci est réduit en oxyde de carbone, en passant sur le charbon incandescent. La réaction $\text{CO}^2 + \text{C} = 2\text{CO}$ n'étant pas instantanée, il faudra, pour que l'équilibre soit atteint, une épaisseur suffisante de la couche de charbon, de 0,60 à 2 mètres en moyenne ; en outre on sait que cette réaction est endothermique et que l'équilibre final obtenu sera par suite d'autant plus riche en oxyde de carbone que la température sera plus élevée, en vertu du principe de M. Le Chatelier (voir p. 64). On devra donc faire marcher le gazogène à une allure très chaude afin d'avoir un gaz riche ; en pratique, on ne devra jamais descendre au-dessous de 900°.

Quand on emploie des houilles dans ces gazogènes (les houilles riches à longue flamme conviennent le mieux), le gaz contient une certaine quantité d'hydrocarbures formés par la distillation des parties volatiles. Voici quelques exemples de composition du gaz obtenu (d'après Babu).

	COMPOSITION DU GAZ EN VOLUMES	
	Allure froide.	Allure chaude.
Oxyde de carbone.	23,3	27,7
Hydrogène	6,3	7,8
Hydrocarbures	2,2	2,2
Anhydride carbonique.	5,1	2,1
Azote	63,1	60,2

Les gaz qui sortent du gazogène sont mélangés d'une assez forte proportion de goudrons, qui concourent à élever leur effet calorifique ; si ces gaz sont refroidis avant d'être introduits dans les fours, les goudrons se condensent, et le pouvoir calorifique baisse de ce chef de 1600 à 1300 calories. D'ailleurs on n'aura jamais intérêt à refroidir les gaz, car on perdrait de la sorte la chaleur latente que ces gaz emportent avec eux, indépendamment de la perte en goudrons. Et c'est là un inconvénient de tous les gazogènes à gaz d'air, qui tient à ce que la réaction de gazéification est exothermique : ils



fournissent des gaz très chauds, et ne sont économiques que si l'on utilise ces gaz sans refroidissement préalable c'est-à-dire si le gazogène fait partie intégrante du four. On ne peut songer d'autre part à utiliser la chaleur latente des gaz, au sortir du four, pour chauffer l'air primaire : cela ne reviendrait qu'à élever encore la température des gaz produits.

Gazogènes Siemens. — Le gazogène Siemens, sous sa forme primitive (voir fig. 23, p. 163), est constitué par un foyer à grille inclinée C, de surface relativement faible, et sur laquelle on fait tomber une couche épaisse de combustible au moyen de la boîte de chargement A, de manière à réaliser la combustion incomplète en oxyde de carbone. Les gaz produits s'échappent par l'ouverture H au sommet de la voûte et pénètrent dans le *siphon*, destiné à produire l'aspiration. Celui-ci comprend une partie ascendante H en maçonnerie, suivie d'une partie horizontale et d'une branche descendante en tôle.

L'emploi de ce siphon paraissait au début nécessaire pour provoquer l'aspiration de l'air à travers la couche de combustible. Mais il présentait d'autre part le grave inconvénient de refroidir rapidement les gaz. Il en résultait d'une part la condensation des goudrons qui s'accumulaient au bas du siphon et appauvrirent le gaz comme nous l'avons expliqué ; d'autre part une diminution correspondante de l'énergie latente emportée par ce gaz ; le tout au préjudice du rendement de l'appareil.

On a supprimé aujourd'hui le siphon, soit en employant l'air soufflé comme dans les appareils que nous verrons tout à l'heure, soit même en conservant le tirage naturel : il suffit de placer le gazogène en contre-bas du four, de façon que la colonne ascendante de gaz chaud fasse cheminée. De cette manière on peut éviter dans une large mesure le refroidissement et ses fâcheuses conséquences ¹.

On obtient une meilleure solution en accolant les gazogènes deux par deux, de façon à avoir une paroi verticale commune ; ou mieux encore, on supprime toute séparation entre les deux cuves et l'on construit un gazogène à deux grilles inclinées en sens

¹ On a vu d'ailleurs plus haut dans la première partie (p. 175) que cette perte d'énergie était pratiquement moins importante qu'on serait tenté de le croire au premier abord, car la récupération permet de réchauffer le gaz aux dépens de la chaleur emportée par les fumées ; on doit remarquer cependant que si le refroidissement dû au siphon était trop considérable, la récupération intégrale serait impossible, car il faut laisser aux fumées assez de chaleur sensible pour assurer le tirage.



inverse; enfin on peut grouper ces appareils en série les uns à côté des autres. Mais il reste toujours une cause importante de perte de chaleur, c'est la grille par où le rayonnement se fait librement, et ce refroidissement de la grille est d'ailleurs nécessaire pour l'empêcher de brûler. En général même on la refroidit volontairement en jetant de l'eau sur les cendres, ce qui produit déjà un peu de gaz à l'eau.

Le gazogène Siemens présente cependant, en dépit de sa construction en apparence primitive, un avantage considérable qui le fait employer encore fréquemment aujourd'hui : c'est la possibilité de brûler des charbons gras, même ceux qui gonflent et se collent. En effet, par la façon dont le combustible pénètre graduellement dans

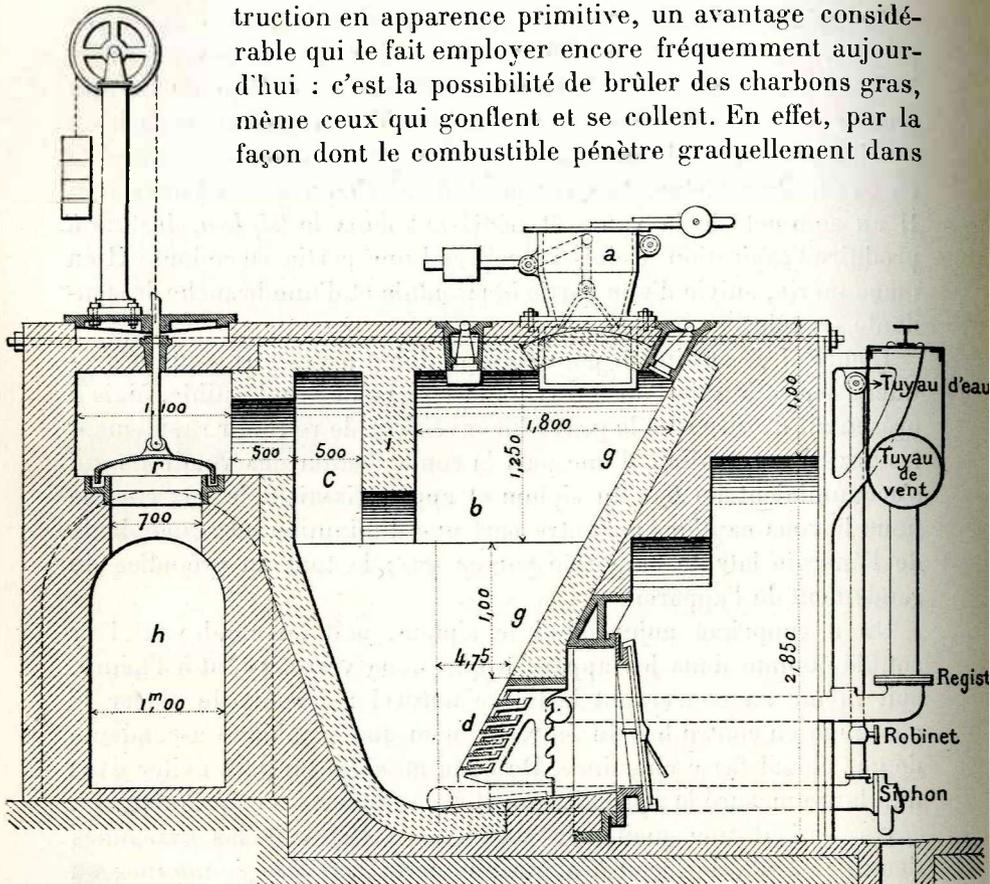


Fig. 84. — Gazogène à barrage.

les parties chaudes en s'écoulant progressivement sur la grille, la distillation des matières volatiles se produit dès le début, et quand le charbon arrive dans la zone de combustion, il est déjà complètement transformé en coke, et se laisse facilement traverser par l'air. S'il se forme des amas de coke, on les brise à l'aide de ringards



introduits à travers les barreaux de la grille. Si la houille s'agglomère à la partie supérieure, on fait passer les ringards dans des trous ménagés à cet effet sous la voûte. On peut même employer des charbons tout venant et des fines, qui donneront du coke aggloméré avant d'arriver à la grille.

Dans les modèles récents de gazogènes Siemens, on remplace en général la grille inclinée du type primitif par une grille horizontale ; cette disposition est figurée dans le four Biedermann et Harey décrit p. 196.

L'emploi des houilles grasses dans ces appareils présente néanmoins un inconvénient : la formation de suie dans les conduites, par suite de la condensation tout au moins partielle des matières goudroneuses, et du dédoublement de ces matières, sous l'action des températures élevées, en gaz plus riches en hydrogène et en noir de fumée.

On a cherché à faire disparaître ce défaut. La solution a été donnée par M. Lencachez avec le *gazogène à barrage* reproduit ci-contre (fig. 84).

Dans ce dispositif, les gaz qui se forment à la partie supérieure par suite de la distillation du combustible sont ramenés, par un barrage vertical I, dans la zone de haute température, au contact du coke incandescent ; là ils subissent une dissociation en produits volatils et en carbone qui reste dans le coke. On évite de cette manière les dépôts de suie dans les conduites, que l'on n'a plus besoin de nettoyer qu'une fois par an, tandis qu'avec le type de Siemens il était nécessaire de brûler la suie condensée tous les huit jours.

Le gazogène figuré ici comporte d'ailleurs deux perfectionnements :

D'abord le tirage naturel est remplacé par de l'air soufflé, ce qui permet de supprimer tout appareil de tirage, siphon ou cheminée, et de ne plus s'inquiéter des différences de niveau à donner au générateur par rapport aux fours.

En second lieu, on aperçoit une porte en fonte placée devant la grille et s'opposant aux pertes de chaleur par rayonnement ; mais pour éviter que dans ces conditions la grille ne soit brûlée, on inonde le bas du cendrier avec de l'eau amenée d'une façon continue et dont le trop-plein est enlevé par un siphon (Babu).

Gazogènes à cuve, à air soufflé. — Les gazogènes à air soufflé sont plus généralement aujourd'hui construits en forme de fours à cuve, à grille circulaire. La figure ci-contre (fig. 85) indique, d'après



Babu, la disposition d'un appareil installé à l'usine du Phénix; le défaut général des gazogènes à cuve verticale est que les vides sont plus considérables entre le charbon et la paroi qu'à l'intérieur des morceaux de charbon, et que par suite l'air injecté dans le gazogène tend à suivre la paroi; il en résulte un mauvais fonctionnement de l'appareil et un excès d'acide carbonique dans le gaz. C'est là un

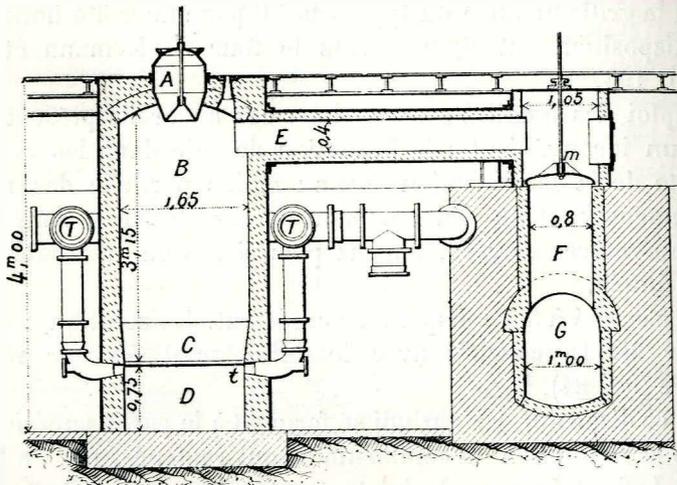


Fig. 85. — Gazogène à air soufflé du Phénix.

défaut qui ne se présentait pas dans le type primitif de Siemens; on a essayé, comme c'est le cas ici, d'y pallier en rétrécissant un peu la cuve au niveau de la grille; une meilleure solution serait l'introduction de l'air soufflé au sein même du combustible comme nous le verrons tout à l'heure dans les gazogènes Dowson.

V. p. 119

Gazogènes à vent soufflé sans grille. — Déjà Ebelmenn, dans des essais faits aux usines d'Audincourt, avait eu l'idée de construire des gazogènes en forme de hauts fourneaux, alimentés par des tuyères, et brûlant du charbon de bois mélangé de scories de hauts fourneaux et d'argiles ferrugineuses, de manière à avoir un laitier possible. Cette idée d'avoir un gazomètre marchant à une allure assez chaude pour amener la fusion des cendres a été reprise plus tard et réalisée par le *cubilot de Saillers* (fig. 86).

Cet appareil possède des dimensions assez considérables : sa hauteur atteint 5 mètres; son diamètre augmente graduellement vers le bas, ce qui facilite la descente du combustible. L'air est amené, sous



une pression de 10 à 20 centimètres d'eau, par deux tuyères *b, b* à double enveloppe, avec réfrigération par un courant d'eau; des caisses à circulation d'eau *cc* ont également été ménagées dans les parois, de manière à les refroidir un peu et à éviter leur attaque par les matières fondues. Celles-ci sont expulsées de temps en temps par les trous de coulée *H*.

Le gazogène Saillers fonctionne avec les houilles grasses collantes; par suite de la grande hauteur de la courbe de charbon et de l'allure très chaude (les gaz sortent de l'appareil vers 800-900°), la teneur en acide carbonique ne dépasse par 2 p. 100.

En ajoutant à la houille une certaine quantité de chaux de manière à réaliser des scories basiques, on fait passer la plus grande partie du soufre dans les laitiers, de sorte que le gaz est très pauvre en ce métalloïde, ce qui est particulièrement important pour les opérations sidérurgiques.

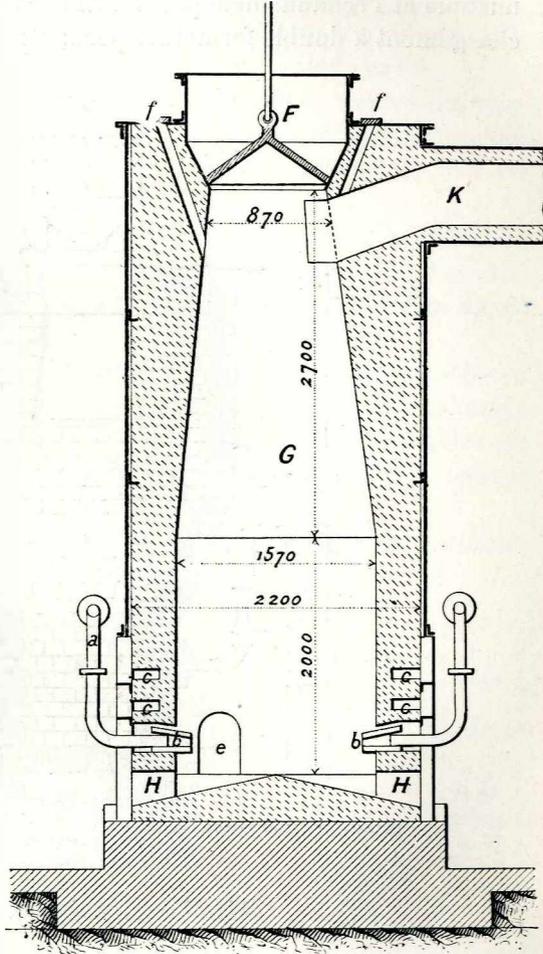


Fig. 86. — Gazogène Saillers.

Gazogène S. F. H. —

Le gazogène Sépulchre, construit par MM. Fichet

et Heurtey et désigné sous le nom de gazogène S. F. H., représente le dispositif le plus récent de gazogène à fusion de cendres. Sa forme générale (fig. 87) rappelle beaucoup celle des petits hauts fourneaux à charbon de bois utilisés au commencement du siècle dernier. Il comporte à sa partie inférieure un creuset muni de



tuyères refroidies par une circulation d'eau; un ouvrage dans lequel on peut, éventuellement, souffler de l'air humide sous pression; une cuve avec ou sans étalages; un départ de gaz latéral; une trémie centrale permettant à la fois le réglage de l'épaisseur du combustible et l'échauffement progressif de celui-ci; enfin un appareil de chargement à double fermeture permettant l'introduction de combus-

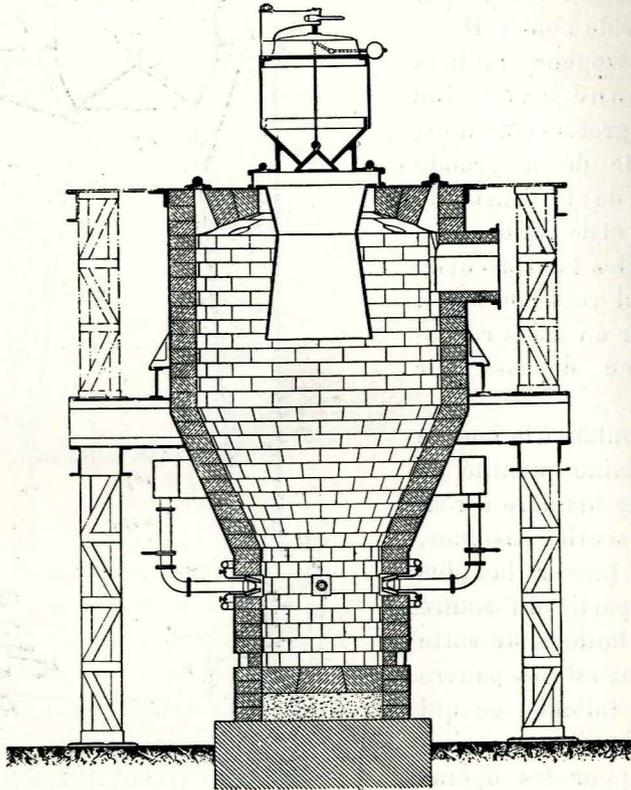


Fig. 87. — Gazogène Sépulchre.

tible frais sans déperdition de gaz. Le couvercle est muni sur son pourtour de trous de piquage.

On peut brûler dans ce gazogène les combustibles les plus divers : charbons maigres ou gras, lignites; la seule condition est que le coke produit par distillation puisse être brisé facilement avec une barre de piquage. Le vent doit être soufflé sous une forte pression. On obtient alors une température extrêmement élevée au foyer, ame-



nant la fusion complète des cendres, surtout si l'on a eu la précaution de mélanger au combustible une certaine proportion d'un fondant approprié, calcaire, sable ou laitier de haut fourneau ; on peut ainsi brûler des charbons tenant 25 et même 30 p. 100 de cendres. La combustion est très active et atteint en allure normale 900 à 1100 kilogrammes par heure et par mètre carré.

Après une ou deux heures de marche, suivant la nature du combustible, on doit procéder à la coulée du bain de laitier qui remplit le creuset, en débouchant le tampon d'argile obturant le trou de coulée.

Le profil et les dimensions intérieures de l'appareil sont établis d'après la nature et la grosseur du combustible à gazéifier. La hauteur est calculée de telle sorte que la distillation soit complète avant l'arrivée aux tuyères.

Le gazogène est complètement revêtu d'une enveloppe étanche en tôle ; la partie supérieure de l'enveloppe est portée par des colonnes et la partie inférieure est construite en panneaux démontables de manière à pouvoir réparer le creuset sans toucher au reste de l'appareil.

Voici quelques analyses de gaz provenant de différents combustibles traités dans l'appareil :

	CHARBON gras.	CHARBON demi-gras.	LIGNITE de Gironcourt.	LIGNITE des Bouches-du-Rhône.	COKE
SO ² + CO ²	4,10	0,60	2,09	1,40	0,60
CO	31,50	30,20	28,69	28,30	31,90
H	5,30	9,00	8,60	7,70	néant.
CH ⁴	2,60	—	2,88	7,50	4,70
Az.	59,50	60,20	57,74	55,10	62,80
Gaz combustibles.	39,40	39,20	40,17	43,50	36,60

On remarquera la proportion extrêmement faible d'acide carbonique, due à l'allure très chaude des appareils ; et aussi la forte teneur en méthane des gaz produits par certaines variétés de lignite.

Gazogènes à joint hydraulique. — Nous venons de voir qu'un des défauts du gazogène Siemens consistait dans la perte de chaleur par rayonnement de la grille, et nous avons montré comment on avait cherché à diminuer cette perte, soit en arrosant d'eau les



condres, soit en combinant ce moyen avec la fermeture d'une porte en fonte devant la grille. On peut faire mieux et construire des gazogènes à cuve terminés à leur partie inférieure par une cuvette pleine d'eau. Dans ces conditions le rayonnement du four est employé à distiller de l'eau qui traverse ensuite le charbon sous forme de vapeur et dont on retrouve par suite l'énergie apportée, et les chaleurs perdues par les condres, tombant du gazogène à haute tempé-

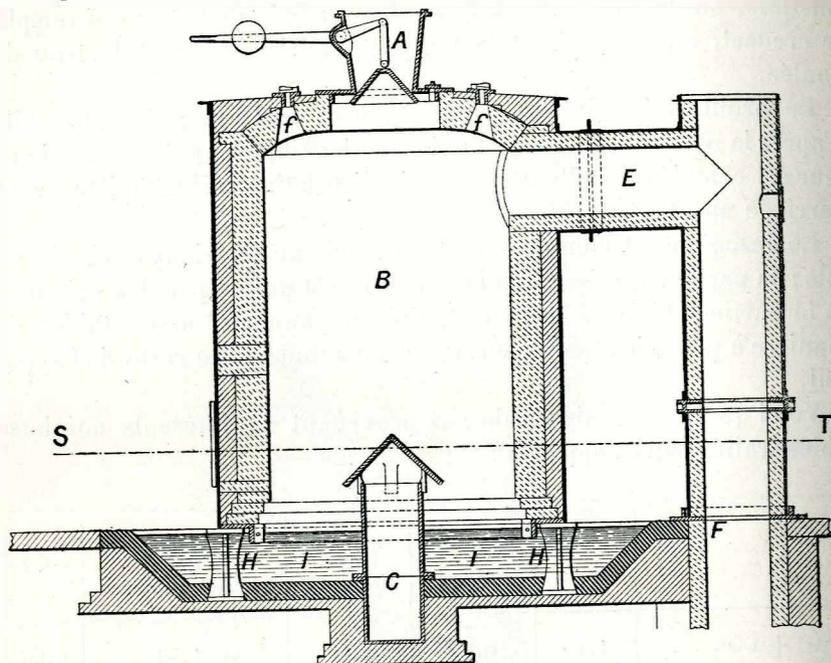


Fig. 88. — Gazogène Dowson.

rature, sont également retrouvées sous forme de vapeur d'eau formée. On voit que l'on arrive ainsi, par des transitions insensibles, aux appareils à gaz à l'eau ou tout au moins à gaz mixte. Cependant dans les modèles que nous étudierons ici la vapeur d'eau n'est introduite qu'en proportion relativement faible, et seulement de manière à abaisser la température au voisinage de la grille et à utiliser les chaleurs emportées par les condres; mais l'allure de l'appareil reste toujours très chaude et les gaz produits sont toujours constitués en majeure partie par l'oxyde de carbone.

Dans les gazogènes du type *Dowson*, figuré ici (fig. 88), la grille a été supprimée; la cuve, en tôle garnie de briques réfractaires, repose

par l'intermédiaire de supports en fonte H sur une cuvette I remplie d'eau. L'air soufflé arrive au centre du combustible par un tube vertical C, recouvert d'un cône de tôle destiné à empêcher l'introduction du charbon dans la conduite. Les gaz s'échappent par la conduite E F, tandis que le chargement s'effectue par la trémie A. Des ouvertures placées à la partie supérieure de l'appareil, en *f*, ou vers le bas, et fermées d'habitude par des tampons en matière réfractaire, servent à introduire des ringards de manière à briser les agglomérations de morceaux de houille qui peuvent se produire et à faire descendre régulièrement le combustible.

Dans les gazogènes Dowson, la pression de l'air nécessaire au soufflage est produite au moyen d'un injecteur à vapeur. Dans les gazogènes *Twaite*, qui leur ressemblent beaucoup comme dispositions générales, l'injecteur est remplacé par un ventilateur.

§ 2. — GAZOGÈNES POUR GAZ À L'EAU

La réaction fondamentale :



étant endothermique, le carbone ne pourra être gazéifié de lui-même sous l'influence de la vapeur d'eau : si l'on fait réagir celle-ci sur du charbon porté au rouge, la température s'abaissera rapidement jusqu'à ce que la réaction s'arrête. Il faudra donc, pour obtenir la quantité suffisante du gaz à l'eau, fournir un supplément de chaleur, ce que l'on pourra réaliser de deux manières différentes :

1° En chauffant d'une manière continue, à l'aide d'un foyer extérieur, du charbon enfermé dans une enceinte close et sur lequel on fera passer d'une façon également continue un courant de vapeur d'eau.

2° Ou bien on marchera de façon discontinue : dans une première période, on fera passer un courant d'air sur le charbon allumé, ce qui élèvera rapidement sa température, la combustion du charbon dans l'air étant exothermique ; puis viendra la période de formation de gaz à l'eau, obtenu en remplaçant le courant d'air par un courant de vapeur, et durant laquelle la température retombera jusqu'à ce qu'on arrête la vapeur et que l'on relève de nouveau la température par une nouvelle introduction d'air, et ainsi de suite en alternant. C'est suivant ce principe que fonctionnent la plupart des gazogènes pour gaz à l'eau ; mais on peut encore conduire la période de combustion par l'air de deux façons diffé-



rentes : On peut n'introduire l'air qu'en quantité limitée, de manière à produire presque uniquement de l'oxyde de carbone ; la réaction n'est pas très fortement exothermique, de sorte qu'il faudra faire passer un volume d'air relativement assez considérable pour retrouver la température primitive ; mais en revanche le gaz produit sera combustible et pourra être utilisé au même titre que le gaz à l'eau formé dans la seconde période. — Ou bien, on peut introduire rapidement une grande quantité d'air, de manière à amener la production d'acide carbonique : il ne se forme plus de gaz combustible durant cette période, mais la température remonte beaucoup plus vite, puisque la combustion du charbon conduisant à l'acide carbonique est beaucoup plus fortement exothermique que la production d'oxyde de carbone.

1. — GAZOGÈNES CONTINUS A CHAUFFAGE EXTÉRIEUR

Gazogène Guénot. — Ce gazogène, dont nous empruntons la description à l'excellent ouvrage de M. Deschamps¹, réalise la production continue du gaz à l'eau, avec chauffage extérieur. Il se compose d'une cornue en fonte en deux pièces *a, b*, en forme d'U, que l'on remplit de charbon de bois au moyen de la trémie *e*. La cornue est chauffée par les gaz issus du foyer *j*. L'eau est introduite par un siphon *p*, et son écoulement réglé au moyen du robinet *o*. La vapeur produite circule dans la cornue en sens inverse des gaz du foyer, et le gaz à l'eau sort finalement en *h* par l'extrémité la plus chaude, pour aller se laver en *g* avant de pénétrer dans le gazomètre *n*. Celui-ci assure le réglage de l'appareil au moyen de deux tiges articulées dont l'une commande la fermeture du robinet *o* et dont l'autre gouverne la vanne de réglage *m* du tirage du foyer.

La cornue étant en fonte ne peut pas être portée à une température très élevée ; aussi, conformément au principe du déplacement de l'équilibre, le gaz produit est-il assez chargé en acide carbonique, ainsi que le montrent les chiffres suivants :

	EN POIDS	EN VOLUME
CO ²	69,8	25
CO	22,2	12
H ²	8,2	63

Cependant on voit que ce gaz contient encore, en volumes, plus de

¹ Deschamps, *les Gazogènes*, Paris, 1907.



63 p. 100 d'hydrogène, il est donc très léger et l'on a pu le proposer pour gonfler les aérostats.

Les gazogènes Guénot, comme tous les appareils comportant des cornues, ne donnent qu'un très mauvais rendement, mais ils ont l'avantage de la simplicité et du faible encombrement, aussi peuvent-ils malgré tout être avantageux pour les petites productions, par

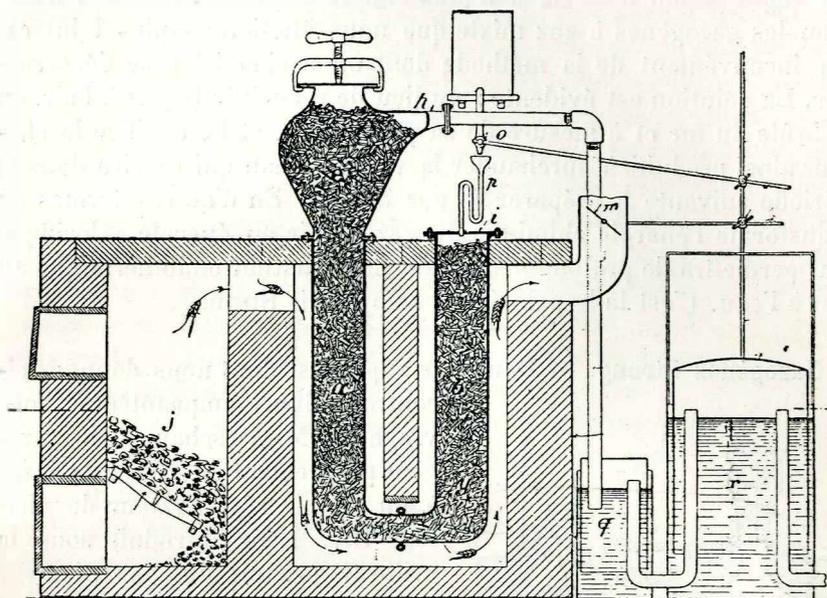


Fig. 89. — Gazogène Guénot.

exemple si l'on veut utiliser le gaz pour la soudure autogène. En fait ils ne sont guère employés.

2. — GAZOGÈNES DISCONTINUS

Nous avons dit que dans ces gazogènes la période de soufflage, destinée à relever la température, pouvait être conduite de manière à produire du gaz à l'air ou du gaz carbonique.

Nous parlerons d'abord des appareils fonctionnant suivant la première manière. Dans ce cas la période de soufflage doit être notablement plus longue que la période de production du gaz à l'eau ; par exemple la première est maintenue pendant 10 à 12 minutes tandis que la seconde ne dure que 4 minutes. Le gaz à l'air sera récolté dans un gazomètre distinct de celui du gaz à l'eau. On combine en



général les valves d'introduction de l'air soufflé et de la vapeur d'eau et les registres de sortie du gaz produit de manière à diriger automatiquement le gaz sur l'un ou sur l'autre gazomètre en même temps qu'on remplace l'air par la vapeur et vice versa.

Cette sujétion d'avoir deux gazomètres et deux gaz différents ne pouvant pas être employés aux mêmes usages et que l'on ne doit pas mélanger (sinon il serait bien plus simple et plus avantageux d'utiliser les gazogènes à gaz mixte que nous étudierons plus loin) est un inconvénient de la méthode dont on a cherché à se débarrasser. La solution est évidente : au lieu de recueillir le gaz à l'air, on le brûle au fur et à mesure de sa production, et l'on utilise la chaleur ainsi produite à surchauffer la vapeur d'eau qui servira dans la période suivante à préparer le gaz à l'eau. En d'autres termes on transforme l'énergie chimique du gaz à l'air en énergie calorifique qui permettra de prolonger d'autant la formation endothermique du gaz à l'eau. C'est là le principe des appareils Strong.

Gazogènes Strong. — Dans ces appareils, dont nous donnons ci-

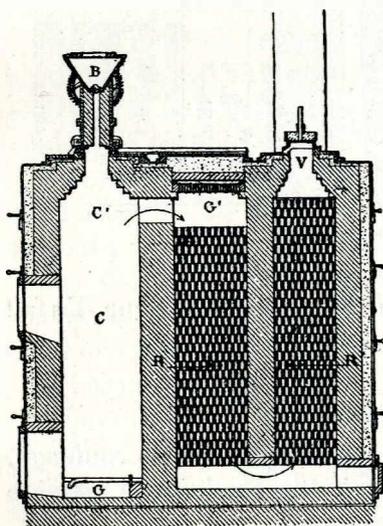


Fig. 90. — Gazogène Strong.

contre la figure empruntée à l'ouvrage de M. Deschamps, le gazogène proprement dit, CC', est adossé à un double régénérateur de chaleur RR'. L'air introduit sous la grille G produit du gaz Siemens qui sort à la partie supérieure C' et qu'on enflamme au contact d'une rentrée d'air supplémentaire en G' au-dessus du premier régénérateur; les gaz enflammés parcourent ce régénérateur de haut en bas, puis remontent par le régénérateur R' pour s'échapper en V. — Dans la période suivante, la vapeur d'eau est introduite en V; elle parcourt en sens inverse les régénérateurs qui la surchauffent, et

pénètre en C' dans le gazogène dont elle traverse de haut en bas la couche de charbon incandescent pour sortir en G. Grâce à la température élevée de la vapeur d'eau ainsi surchauffée, le refroidissement du charbon est moins rapide, et l'on peut ainsi prolonger la



durée de production du gaz à l'eau par rapport à celle de la période de gaz à l'air.

De même que l'on utilise ainsi sous forme d'énergie calorifique l'énergie chimique emportée par les gaz de la période de soufflage, de même on pourrait économiquement récupérer l'énergie thermique emportée par le gaz à l'eau lui-même quand il quitte le gazogène à une température de 900 à 1000°. On a construit des gazogènes réalisant cette conception. Dans ces appareils (gazogènes Goodyear) il existe de part et d'autre du gazogène deux groupes de récupérateurs que nous appellerons A et B. L'air soufflé pénètre dans le régénérateur A, où il se réchauffe, et traverse le gazogène en produisant du gaz à l'air, qui est enflammé à sa sortie par une introduction d'air secondaire et vient brûler dans le régénérateur B. Dans la période suivante, la vapeur d'eau entre par le régénérateur B, et se surchauffe avant de pénétrer dans le gazogène. Le gaz à l'eau produit traverse le régénérateur A et lui cède sa chaleur. Dans une troisième période, on recommence l'introduction de l'air soufflé, mais cette fois en B, et l'on brûle le gaz produit dans le régénérateur A. Enfin dans une quatrième période, la vapeur d'eau est introduite en A, et le gaz à l'eau qu'elle produit en traversant ensuite le gazogène est dirigé à travers le régénérateur B; après quoi le cycle recommence.

Malgré sa construction théoriquement parfaite le gazogène Goodyear n'a pas été employé pratiquement.

Gazogène Dellwick-Fleicher. — Cet appareil, un des plus employés à l'heure actuelle pour la préparation du gaz à l'eau, est conçu de manière à produire durant la période de soufflage de l'acide carbonique au lieu d'oxyde de carbone. Il se compose (fig. 90) d'une cuve en tôle de faible hauteur, doublée de briques réfractaires, et portant à sa partie supérieure une trémie centrale surmontée d'une cheminée. Le chargement s'effectue au moyen de coke en gros morceaux, versé par la trémie. Une soufflerie permet d'envoyer un courant d'air rapide à la partie inférieure, et comme la couche de combustible n'est pas très épaisse et que les gros morceaux laissent entre eux des vides importants, on arrive à brûler presque complètement le carbone à l'état de CO^2 ; il ne se produit pas plus de 2 p. 100 d'oxyde de carbone. Les gaz s'échappent par la trémie et la cheminée qui la surmonte.

Dans ces conditions la température du charbon s'élève très rapi-



dement. On ferme alors l'arrivée de l'air, au moyen d'une vanne commandée par un levier placé sur le plancher supérieur, on ferme la trémie de chargement et l'on envoie le courant de vapeur d'eau, à volonté à la partie supérieure ou inférieure de l'appareil ; on ouvre en même temps l'orifice de sortie de gaz à l'eau : il y a deux orifices,

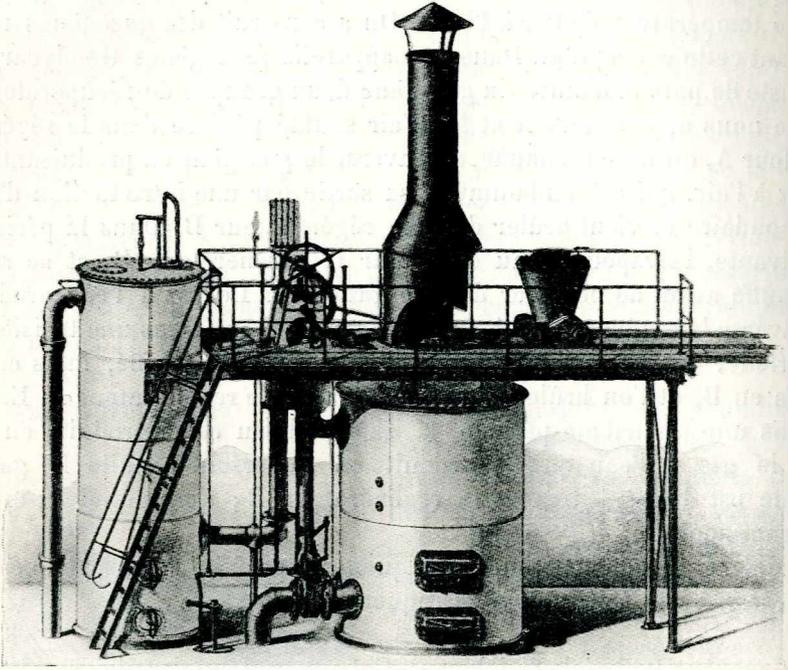


Fig. 91. — Gazogène Dellwick-Fleicher.

l'un en bas, l'autre en haut de la cuve, aboutissant à deux conduites qui se réunissent à une certaine distance pour amener le gaz au bas d'un scrubber rempli de coke humide où il se filtre et se purifie des poussières entraînées. On fait ainsi circuler la vapeur d'eau tantôt de haut en bas, tantôt, à la période suivante, de bas en haut à travers le charbon incandescent, ce qui égalise la température et prévient toute chance d'usure du revêtement. Les cendres traversent la grille et se rassemblent dans le cendrier d'où elles sont facilement retirées.

L'introduction de l'air dure de 1 minute $1/2$ à 2 minutes seulement, et la période consécutive de production de gaz à l'eau dure au minimum 8 minutes.



La composition moyenne du gaz obtenu est la suivante (en volumes) :

Hydrogène.	49 p. 100
Oxyde de carbone.	39 —
Acide carbonique.	5 —
Méthane.	0,7 —
Azote	6,3 —

En se servant d'un bon coke sec en morceaux de la grosseur du poing et ne contenant pas plus de 20 p. 100 de cendres, on peut obtenir 2,3 m³ de gaz à l'eau par kilogramme de carbone, ce qui en comptant le pouvoir calorifique du gaz comme étant de 2550 calories au mètre cube, et celui du charbon de 8080 calories, correspond à un rendement de 72,7 p. 100; il faudrait en outre tenir compte de la chaleur employée pour vaporiser l'eau et de l'énergie nécessaire pour la compression de l'air. Le volume d'air théorique pour brûler complètement 1 kilogramme de carbone est de 11,5 m³; mais en pratique il faut une quantité d'air bien plus considérable. Quant à la dépense de vapeur (généralement fournie à la pression de 6 kilogrammes), on peut compter sur 0,8 à 1 kilogramme par mètre cube de gaz à l'eau produit, en comptant aussi celle qui est nécessaire pour actionner le ventilateur.

On doit remarquer que le procédé Dellwick-Fleicher revient au fond au procédé Strong: Dans les deux cas on utilise finalement toute la chaleur dégagée par le carbone pour passer à l'état d'anhydride carbonique. Mais dans le procédé Strong on produit la réaction en deux phases, il en résulte une grosse perte de calories par rayonnement, surtout dans le régénérateur. Le procédé Dellwick-Fleicher apparaît donc comme plus économique, et en même temps les appareils qui permettent de le réaliser sont d'une construction bien plus simple.

Usages du gaz à l'eau. — Le gaz à l'eau peut être employé comme moyen de chauffage dans les différents fours. Cependant on lui préfère généralement pour cet usage soit le gaz de générateur, soit plutôt le gaz mixte. Il est surtout avantageux quand on veut effectuer une opération en atmosphère nettement réductrice, par exemple pour la soudure autogène. Mais la plus importante application du gaz à l'eau est son emploi comme gaz d'éclairage, soit mélangé au gaz de houille dans la proportion de 20 à 30 p. 100, soit même employé seul. Comme nous n'envisageons ici que le problème du chauffage, et non celui de l'éclairage, nous ne nous étendrons pas



sur cette application. Nous mentionnerons cependant la nécessité, dans ce dernier cas, de carburer le gaz à l'eau, c'est-à-dire de le charger de vapeur d'hydrocarbures afin de le rendre éclairant ; la carburation peut être faite soit à froid au moyen de carbures volatils (benzols), soit à chaud au moyen d'huiles lourdes de pétroles. Dans ce dernier cas les gazogènes sont généralement disposés de manière à réaliser directement la carburation : il en est ainsi par exemple des appareils *Lowe*, *Strache* et *Humphrey et Glasgow*. Dans ces appareils les huiles sont généralement introduites dans les gaz à la sortie du gazogène, où elles se volatilisent ; mais pour éviter leur condensation ultérieure on doit faire passer le gaz dans une enceinte chauffée à haute température, de manière à décomposer les vapeurs carburées avec production de produits plus volatils et non condensables. Cette enceinte est chauffée durant la période de soufflage par la combustion du gaz à l'air formé dans le gazogène.

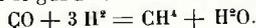
L'usage du gaz à l'eau comme gaz d'éclairage ne s'est du reste pas répandu en France où l'on redoute les dangers résultant de sa forte teneur en oxyde de carbone. Mais il est très employé au contraire en Allemagne et en Amérique¹.

§ 3. — LES GAZOGÈNES A GAZ MIXTE

Les gazogènes à gaz mixte sont certainement ceux sur lesquels l'imagination des constructeurs s'est le plus exercée, et dont on a produit le plus de types différents. Cela tient à ce qu'ils constituent, dans la majeure partie des cas, la méthode la plus commode et la plus pratique de gazéification des combustibles, et qu'ils se plient sans difficulté, comme nous le montrerons par la suite, à des emplois très différents, permettant aussi bien de très fortes consommations que des productions très réduites.

Les gazogènes du type Siemens produisent comme nous l'avons vu un gaz très chaud, dont l'emploi n'est réellement économique que s'il est brûlé dans les fours immédiatement à sa sortie de l'appareil, ou du moins avant d'avoir pu se refroidir notablement. Dans tous les autres cas où le gaz devra être employé froid, par exemple

¹ On a proposé de transformer le gaz à l'eau en formène suivant l'équation :



La réaction se produit facilement au contact du nickel réduit (*gaz méthane*, procédé Sabatier et Senderens). Le gaz ainsi transformé a perdu tout pouvoir toxique et peut être mélangé au gaz d'éclairage en toutes proportions. Ce procédé sera étudié plus complètement dans un autre volume de l'Encyclopédie.



si l'on doit le distribuer à des fours disséminés à des distances assez grandes du générateur, ou encore si l'on veut l'employer dans des moteurs à explosion, on perdra inutilement la chaleur qu'il emportait avec lui.

L'emploi du gaz mixte permet de réduire cette perte d'énergie, en abaissant notablement la température de régime, qui peut descendre aux environs de 600°. On récupère donc, sous forme d'énergie chimique, l'énergie thermique correspondant à la différence des températures de régime, différence qui peut dépasser 600° (voir première partie, page 180).

L'emploi du gaz à l'eau, dans des appareils perfectionnés où l'on récupérerait les chaleurs emportées par les gaz correspondant à la période d'air soufflé, donnerait les mêmes résultats économiques. Mais, par suite de sa marche discontinue, qui doit être renversée à des intervalles de temps très courts, la surveillance et la manipulation d'un tel gazogène sont beaucoup plus compliquées que celles des appareils à gaz mixte. Aussi le gaz à l'eau proprement dit n'est-il guère employé que dans les cas où l'on cherche un combustible très riche.

Une des applications les plus intéressantes du gaz mixte, en dehors du chauffage, est la marche des moteurs à explosion. Dans ce cas il semble, au premier abord, que l'on aurait grand avantage à prendre du gaz à l'eau, formé presque exclusivement de gaz combustibles tandis que le gaz mixte, appelé aussi pour cette raison et par opposition *gaz pauvre*, renferme au moins la moitié de son volume d'azote.

En réalité cet avantage est bien moins considérable qu'il ne paraît au premier abord, parce que, plus le gaz est riche, plus grand doit être le volume d'air nécessaire pour sa combustion, et cet air apporte avec lui les $\frac{4}{5}$ de son volume d'azote, c'est-à-dire le dilue d'autant. Il en résulte que les mélanges tonnants formés d'air et de deux gaz combustibles différents, l'un riche et l'autre pauvre, représentent des énergies beaucoup plus voisines que le rapport des puissances calorifiques de ces deux gaz. C'est ainsi par exemple que si l'on compare les pouvoirs calorifiques de l'oxyde de carbone pur et de ce même gaz dilué de son volume d'azote, ces pouvoirs calorifiques seront évidemment dans le rapport de 1 à 2, tandis que les pouvoirs des mélanges tonnants correspondants, évalués toujours pour des volumes égaux, seront entre eux comme 8,6 et 10 (Deschamps).

On comprend ainsi que l'avantage pratique reste au gaz pauvre.



Dans ce qui va suivre nous étudierons les types les plus remarquables de gazogènes à gaz pauvre, en insistant particulièrement à la fin sur les appareils permettant l'utilisation des combustibles bitumineux ou de qualité inférieure : c'est en effet de ce côté que se porte actuellement l'ingéniosité des inventeurs, et l'on est arrivé à pouvoir gazéifier sans difficultés ces combustibles, c'est-à-dire à réaliser la production du gaz mixte dans des conditions très économiques, tandis que les premiers appareils utilisés exigeaient l'emploi d'antracite ou de houilles maigres d'excellente qualité.

Au point de vue du fonctionnement, les gazogènes à gaz mixte peuvent se diviser en deux classes : les gazogènes soufflés et les gazogènes par aspiration.

Dans les premiers, les plus anciennement connus, le mélange d'air et de vapeur était introduit sous pression, au moyen d'un injecteur à vapeur d'eau ou d'un ventilateur, et le gaz produit était recueilli dans un gazomètre.

Les seconds, destinés à l'alimentation des moteurs à explosions, fonctionnent *en dépression*, sous l'influence de l'aspiration produite par le moteur lui-même. On est donc conduit à supprimer le gazomètre, ce qui représente une économie considérable d'installation et une réduction de l'encombrement.

GAZOGÈNES SOUFFLÉS

Gazogène Wilson. — Ce gazogène (Babu, *Métallurgie générale*) est spécialement construit pour le chauffage des fours ; il est tout en maçonnerie, formé de deux revêtements successifs, l'un intérieur réfractaire C, l'autre extérieur en briques ordinaires B entouré d'une chemise en tôle A qui assure la parfaite étanchéité de l'ensemble.

La cuve (fig. 92) présente une forme légèrement conique, évasée vers le bas, ce qui évite la formation des voûtes qui s'effondrent d'elles-mêmes sous l'influence de la section croissante, et permet l'emploi des houilles légèrement collantes. Il n'y a pas de grille : le combustible repose directement sur la sole du four, où plutôt ce sont les cendres et les scories qui sont en contact direct avec cette sole ; on les enlève de temps à autre au moyen de ringards introduits par deux larges portes latérales. L'air, soufflé par les injecteurs de vapeur K et L, pénètre dans le gazogène par une conduite ménagée dans une sorte de pont en briques réfractaires traversant le gazogène au-dessus de la sole ; il débouche dans la cuve par des ouvertures H ménagées latéralement dans ce pont et protégées par une



voûte en briques qui les empêche d'être obstruées par les fragments de charbon ou les cendres. Les gaz produits sortent en traversant une chambre annulaire DD qui entoure complètement la partie supérieure CC du gazogène où se trouve le combustible récemment chargé. Il en résulte que celui-ci, chauffé par les gaz qui circulent

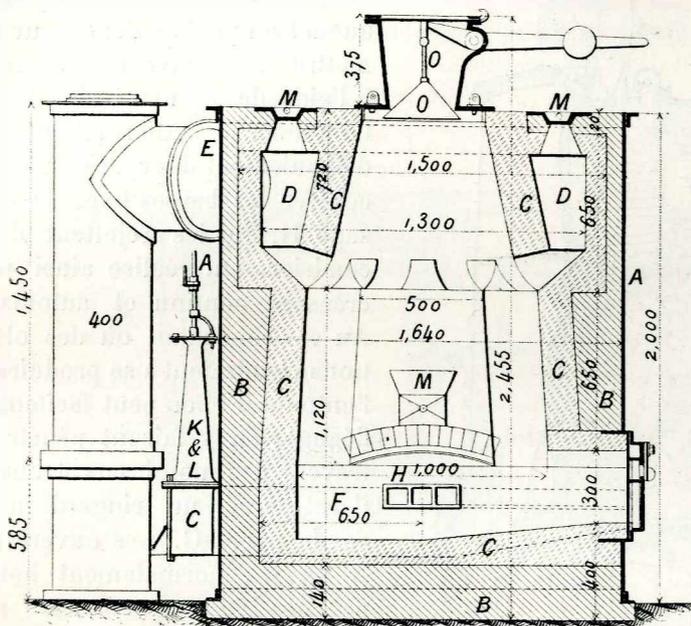


Fig. 92. — Gazogène Wilson.

tout autour, distille peu à peu, et arrive plus tard à l'état de coke dans la partie inférieure de la cuve.

Enfin les gaz s'échappent dans le four par la conduite E. L'alimentation du combustible se fait par la trémie O.

Gazogène Taylor. — Ce gazogène construit en France par MM. Fichet et Heurtet, est muni d'une grille à la partie inférieure, mais cette grille n'est pas en contact direct avec le charbon incandescent : l'appareil est disposé (fig. 93) de manière que la zone de combustion soit reportée notablement plus haut, et que le charbon repose sur la grille par l'intermédiaire des cendres et des scories qui l'empêchent de s'altérer rapidement.

A cet effet le mélange d'air et de vapeur d'eau, soufflé par l'injec-



teur J, pénètre dans le gazomètre à travers le tuyau vertical K qui traverse la couche de cendres, et débouche au milieu du combustible par un chapeau en forme de champignon de manière à produire en L

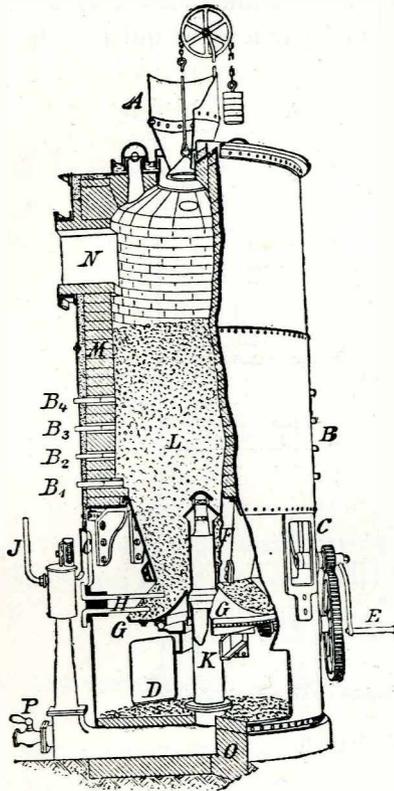


Fig. 93. — Gazogène Taylor.

la zone de combustion. Un entonnoir en tôle F reçoit les scories qui viennent s'ébouler sur le plateau G auquel on peut de l'extérieur transmettre un mouvement de rotation à l'aide de la manivelle E. Sous l'influence de cette rotation, le talus d'éboulement des scories vient rencontrer les barres fixes de décrassage H, qui les rejettent dans le cendrier. On réalise ainsi un décrassage continu et automatique. Au cas cependant où des obstructions viendraient à se produire dans l'entonnoir F on peut facilement le dégager en y faisant pénétrer, au travers des nombreux trous dont il est percé, un ringard introduit par la porte C. Les ouvertures B₁ B₂ B₃ B₄, normalement bouchées par des tampons en terre réfractaire, servent à observer la zone chaude L du gazogène. Cette zone doit être située immédiatement au-dessus de l'arrivée de l'air; si elle

vient à s'élever notablement dans la cuve, on active le décrassage en faisant tourner le plateau au moyen de la roue dentée. Les gaz produits s'échappent par une ouverture latérale N.

Gazogène Pierson. — Les gazogènes que nous avons décrits jusqu'à présent sont employés surtout pour les applications au chauffage. Les modèles que nous allons passer maintenant en revue sont destinés plus spécialement aux moteurs à explosion.

Le gazogène Pierson est formé d'une cuve cylindrique C en maçonnerie, terminée à sa base par une large grille horizontale E. Il est entouré entièrement par un double revêtement en tôle A B fai-



sant corps avec le cendrier, et dans lequel circulent l'air et la vapeur d'eau avant de passer sous la grille. On réchauffe ainsi les produits d'alimentation aux dépens des chaleurs qui seraient perdues par rayonnement, tandis que ce matelas de vapeur forme autour de l'appareil une enveloppe isolante. Ce revêtement se prolonge même sur une certaine longueur en K autour de la conduite de départ des gaz H. Deux portes placées à la partie inférieure sur le cendrier per-

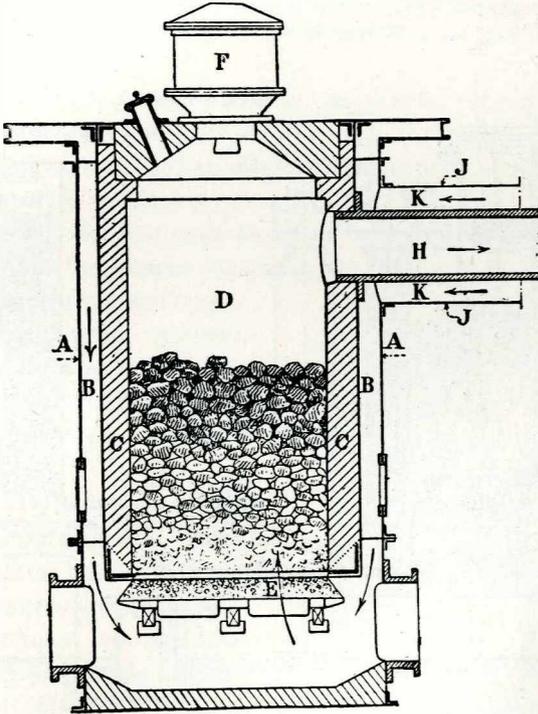


Fig. 94. — Gazogène Pierson.

mettent de dégrasser la grille. Un regard est également ménagé au sommet de l'appareil, à côté de la trémie de chargement F, de manière à pouvoir briser au moyen d'un ringard les voûtes qui viendraient à se former.

Il existe aussi des gazogènes Pierson fonctionnant par aspiration pour les moteurs de faible puissance. Nous en parlerons un peu plus loin.

Gazogènes producteurs de vapeur. — Dans les appareils que nous



avons passés en revue jusqu'à maintenant, la vapeur d'eau doit être fournie par une chaudière auxiliaire. Ce n'est pas un inconvénient sérieux dans les grandes usines, où l'on dispose toujours de vapeur d'eau ; mais il n'en est pas de même pour les petites installations, surtout quand on emploie le gazogène pour alimenter un moteur à gaz, puisqu'on cherche précisément dans ce cas à se passer de chaudières. Aussi était-il intéressant de pouvoir produire la vapeur

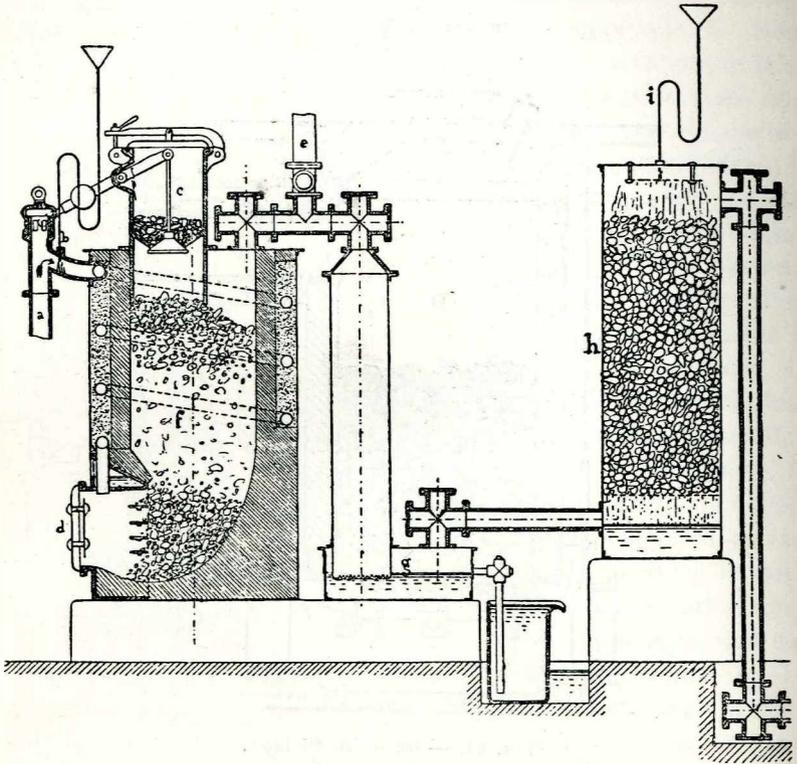


Fig. 95. — Gazogène Letombe.

nécessaire à l'aide du gazogène lui-même ; on y est parvenu de différentes manières :

1° On emploie une chaudière à basse pression, placée soit à la partie supérieure du gazogène, soit au niveau du foyer, soit sur le parcours des gaz produits.

2° On fait couler l'eau, goutte à goutte, dans des tubes chauffés par les chaleurs perdues du gazogène, où elle se volatilise au fur et à mesure. Ces tubes peuvent être placés dans l'épaisseur de

la paroi de la cuve, ou faire partie de la grille dont ils constituent des barreaux creux.

3° L'eau est pulvérisée mécaniquement sur le parcours de l'air d'alimentation devant la grille.

Nous verrons ces différents dispositifs appliqués dans la suite.

Gazogène Letombe. — Ce gazogène (fig. 95) comporte une grille verticale, disposition qui facilite beaucoup le décrassage. La porte *d* est placée à une certaine distance, de manière à ne pas être chauffée trop fortement.

L'eau est introduite goutte à goutte, au moyen du siphon *b*, dans un tube qui s'enroule en spirale autour de la cuve et dans lequel on insuffle l'air d'alimentation. Le mélange d'air et d'eau vaporisée vient déboucher devant la grille.

La cuve est cylindrique, mais la partie inférieure est inclinée vers l'avant de manière à pousser les mâchefers vers la grille.

Les gaz à leur sortie de l'appareil traversent un joint hydraulique et passent ensuite dans un scrubber *h* avant d'aboutir au gazomètre (Deschamps, *les Gazogènes*).

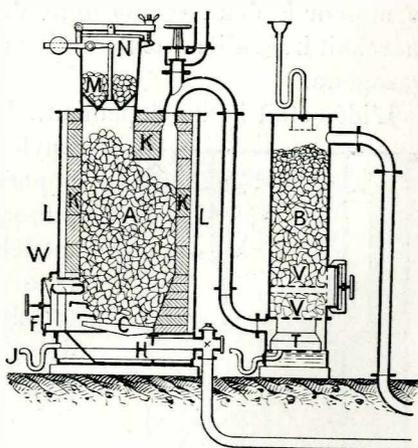


Fig. 96. — Gazogène Lencauchez.

Gazogène Lencauchez. — Ce modèle, construit par la Société des Gaz Industriels, comprend une cuve verticale en briques réfractaires *K*, entourée d'une enveloppe en tôle *L*, l'espace entre cette enveloppe et les briques étant rempli de sable de manière à avoir un bon isolement thermique. La grille est formée de deux parties, l'une à barreaux très légèrement inclinés *C*, l'autre constituée par des gradins formant presque une grille verticale. Le barreau le plus élevé est creux ; il reçoit un mince filet d'eau, qui se vaporise en partie en le traversant et dont l'excès tombe dans le cendrier, d'où le trop-plein peut s'écouler au dehors par le siphon *J*. L'air soufflé par un ventilateur arrive en *H* sous la grille ; mais généralement on l'a fait passer auparavant dans un *saturateur* où il

s'est chargé de vapeur d'eau. Ce saturateur est simplement constitué par une colonne à coke que l'on arrose avec de l'eau bouillante, laquelle provient d'une colonne analogue placée par-dessus la première et parcourue par les gaz chauds sortant du gazogène. On réalise ainsi une récupération partielle des chaleurs entraînées. Le chargement s'effectue par la trémie à double fermeture MN.

Le débit de l'air est commandé par le gazomètre : quand celui-ci est plein, il agit sur une vanne placée sur la conduite du ventilateur, de telle sorte que l'air s'échappe dans l'atmosphère et que la marche du gazogène s'arrête ou se ralentit proportionnellement à la levée du gazomètre.

GAZOGÈNES PAR ASPIRATION

L'idée de supprimer le gazomètre et de faire aspirer directement les gaz du gazogène par le fonctionnement du moteur à explosion est due à Bénier. Mais le gazogène qu'il imagina dans ce but était assez compliqué et ne fonctionnait qu'avec des charbons de choix ; de plus, le moteur à deux temps dont l'inventeur s'était fait le champion marchait irrégulièrement, et l'insuccès du moteur entraîna celui du gazogène.

L'idée était bonne cependant. Elle fut reprise par Dowson et par Taylor et C^{ie}, et le succès des nouveaux appareils pour les installations de faible puissance amena la création de nombreux modèles, tous construits à peu près sur le même type, et dont nous ne présenterons qu'un petit nombre. Tous demandent, pour la mise en marche, l'emploi d'air soufflé par un ventilateur auxiliaire mû à la main, qui refoule les gaz dans une cheminée. Quand l'allumage est opéré on arrête le ventilateur, on interrompt la communication avec la cheminée, et l'on met le moteur en marche.

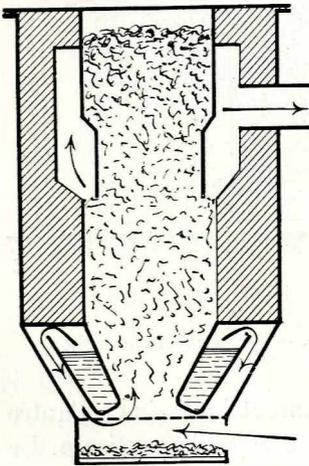
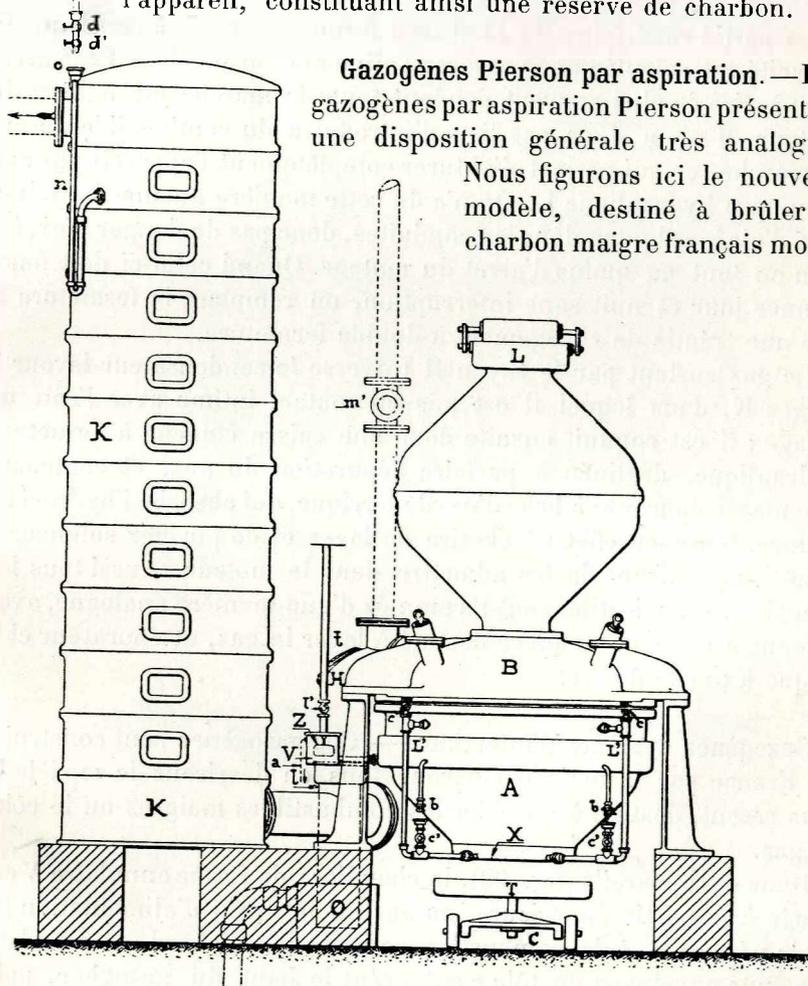


Fig. 97. — Gazogène Dowson par aspiration.

Gazogènes Dowson. — Nous figurons ci-contre (fig. 97) le schéma des gazogènes par aspiration Dowson. La chaudière ou évaporateur est placée à la base de l'appareil, au-dessus de la grille. Elle est exposée directement au contact du foyer, ce



qui assure une évaporation immédiate dès l'allumage et entraîne également une grande stabilité de marche : dès que la température tend à s'élever dans le foyer, la production de vapeur augmente et diminue le feu, et inversement. A la partie supérieure un corps en fonte plonge jusqu'au milieu de l'appareil, constituant ainsi une réserve de charbon.



Gazogènes Pierson par aspiration. — Les gazogènes par aspiration Pierson présentent une disposition générale très analogue.

Nous figurons ici le nouveau modèle, destiné à brûler le charbon maigre français moins

Fig. 98. — Gazogène Pierson par aspiration.

pur que l'antracite anglais. La chaudière A est toujours fixée à la partie inférieure de l'appareil, sans garniture réfractaire. L'alimentation en est assurée par un petit réservoir V, placé contre



un des pieds de l'appareil, alimenté par un robinet à flotteur Z. La vapeur sortant de la chaudière par les tubes L' pénètre dans une pièce de fonte X ou distributeur de vapeur, assurant l'introduction méthodique de la vapeur dans le foyer incandescent. Le gazogène est complètement ouvert par le bas, ce qui permet facilement de piquer le feu et de retirer les cendres entre la pièce X et la sole T.

La partie supérieure de l'appareil forme réservoir à charbon. Sa capacité est calculée pour assurer l'alimentation pendant 12 heures, c'est-à-dire le plus souvent pendant toute la marche journalière du moteur. Il n'y a donc pas lieu d'introduire du combustible durant la marche, ce qui permet d'obturer complètement l'appareil par une fermeture hydraulique L. On n'a de cette manière aucune introduction d'air à redouter dans les conduites, donc pas de danger d'explosion ou tout au moins d'arrêt du moteur. Quand celui-ci doit fonctionner jour et nuit sans interruption, on remplace la fermeture L par une trémie de chargement à double fermeture.

Le gaz sortant par le tuyau H traverse le condensateur-laveur à étages K, dans lequel il est mis en contact intime avec l'eau de lavage ; il est conduit ensuite dans une caisse étanche à fermeture hydraulique, destinée à parfaire l'épuration du gaz, et contenant une masse épurante à base d'oxyde ferrique, qui absorbe l'hydrogène sulfuré. Il est en effet nécessaire de laver et de purifier soigneusement les gaz avant de les admettre dans le moteur. Aussi tous les gazogènes à aspiration sont-ils montés d'une manière analogue, avec colonne à coke ou scrubber destiné à laver le gaz, et épurateur chimique à oxyde de fer.

Gazogènes système Winterthur. — Ces gazogènes sont construits en France par la maison Charon. Nous en décrivons le modèle le plus récent, destiné à gazéifier les combustibles maigres ou le coke de gaz.

Dans ces appareils (fig. 99), la chaudière de forme annulaire V est située à la partie supérieure, autour du magasin d'alimentation P. L'air nécessaire à la combustion se réchauffe d'abord en circulant dans une enveloppe en tôle *e* entourant le haut du gazogène, puis il pénètre dans la chaudière V et descend ensuite, chargé de vapeur, par le tuyau *b* jusqu'à la grille R. L'alimentation de la chaudière est assurée par la conduite *g*; un trop-plein non figuré sur le dessin maintient un niveau constant. Pour la mise en marche, on peut faire arriver directement une petite quantité d'eau sur la grille.



Les gaz sortent par le tube *a* pour se rendre au scrubber *M*, en traversant une conduite *i* à doubles parois remplie d'eau au même niveau que la chaudière *V*. Cette disposition entraîne la formation d'une nouvelle quantité de vapeur qui s'ajoute à la précédente.

Le bas du gazogène se termine par un manchon vertical plongeant dans une cuve pleine d'eau où vont tomber les cendres.

On aperçoit en *G* le ventilateur d'allumage. Un registre *K* permet

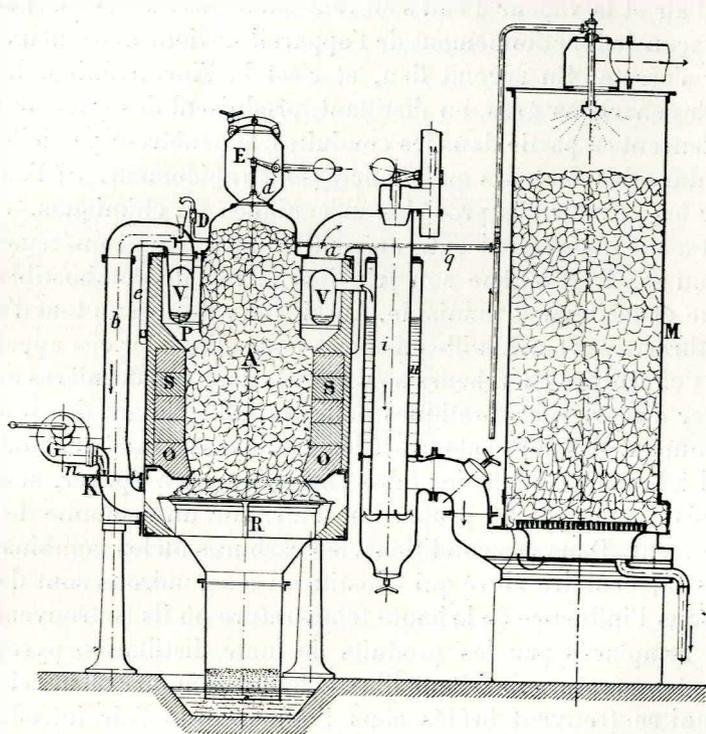


Fig. 99. — Gazogène Winterthur.

d'isoler de l'appareil la conduite *n* du ventilateur ou celle *b* communiquant avec la chaudière.

Le combustible est introduit au moyen de la trémie à double fermeture *E*, d'où il tombe dans le réservoir *P* à une assez grande distance de la zone chauffée pour ne pas produire de refroidissement brusque pouvant affecter le fonctionnement du gazogène.

GAZOGÈNES SPÉCIAUX POUR COMBUSTIBLES BITUMINEUX

Les gazogènes à gaz pauvre destinés à alimenter des moteurs à



explosion ne peuvent fonctionner qu'avec certaines catégories de combustibles : les plus élastiques emploient les houilles maigres, certains, en particulier les petits gazogènes par aspiration, exigent l'emploi à peu près exclusif de l'antracite. Il est en effet très malaisé de brûler dans un gazogène des charbons gras. D'abord ils se collent et forment des voûtes et des accrochages qui arrêtent la descente régulière du combustible ou provoquent la formation de *cheminées* par où l'air et la vapeur d'eau s'élèvent sans gazéifier le charbon : de toutes façon le fonctionnement de l'appareil devient défectueux et le moteur s'arrête. En second lieu, et c'est là l'inconvénient le plus grave, les charbons gras, en distillant, produisent des goudrons, qui se condensent en partie dans les conduites, et pénètrent partiellement jusque dans les moteurs qu'ils encrassent rapidement. Si l'on veut purifier les gaz par des procédés mécaniques ou chimiques, on est conduit à une installation extrêmement compliquée et onéreuse, qui enlève au gaz de gazogène son principal mérite de combustible économique et facilement maniable. Aussi s'en est-on tenu tout d'abord aux anthracites et aux houilles maigres pour alimenter ces appareils ; mais les efforts des chercheurs sont arrivés dans ces dernières années à trouver des procédés pratiques pour dépouiller le gaz des produits goudronneux. Les différents procédés employés se ramènent toujours au fond à la même méthode : faire passer les gaz à épurer, seuls ou mélangés d'une certaine proportion d'air, sur une colonne de coke incandescent. Dans ces conditions, les carbures ou les combinaisons à poids moléculaire élevé qui constituent les goudrons sont décomposés sous l'influence de la haute température où ils se trouvent portés, et remplacés par les produits de toute distillation pyrogénée à haute température : carbone libre et hydrogène ou carbures légers. Ceux qui se trouvent brûlés sous l'influence de l'air introduit en même temps donnent de l'acide carbonique, qui est ultérieurement réduit par le charbon incandescent et passe à l'état d'oxyde de carbone. Mais si la méthode est unique, sa réalisation pratique comporte plusieurs solutions, permettant de classer les différents appareils utilisés en quatre catégories dont la figure 100 indique immédiatement le fonctionnement schématique :

- a) Les gazogènes à deux cuves.
- b) Les gazogènes à injection de matières volatiles sous la grille.
- c) Les gazogènes à combustion renversée.
- a) Les gazogènes à deux zones de combustion.

Les gazogènes du premier type (schéma I) comprennent deux



cuves distinctes, la première A où le combustible bitumineux est gazéifié suivant les procédés ordinaires, la seconde B remplie d'un charbon déjà distillé, coke ou charbon de bois, qui servira à détruire les goudrons. Afin de maintenir l'incandescence dans cette seconde cuve, on introduit généralement une prise d'air entre A et B, de manière à produire un jet de flammes à l'entrée de la colonne de coke.

Dans les autres types de gazogènes, on n'a plus qu'une cuve unique : La colonne de charbon incandescente est fournie par le combustible lui-même dans la zone de combustion. Dans le schéma II on ramène au voisinage de la grille, au moyen d'une conduite spé-

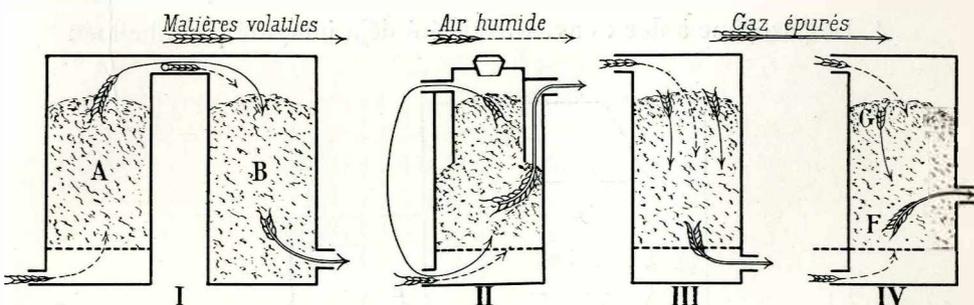


Fig. 100. — Gazogènes destructeurs de goudrons.

ciale, les gaz produits par la distillation du combustible à son entrée dans le gazogène.

La *combustion renversée* fournit une autre solution (schéma III). Dans les gazogènes ordinaires, la zone de combustion est à la partie inférieure, sur la grille ; les gaz produits s'élèvent à travers le combustible, tandis que celui-ci descend progressivement de la partie supérieure où s'effectue le chargement. Il se trouve donc amené peu à peu à des températures croissantes, et perd ses produits volatils qui sont entraînés par les gaz de la combustion, avec lesquels ils se mélangent pour se condenser en partie dans la suite. Un simple changement dans le sens de la combustion va tout modifier : supposons qu'au lieu de se faire de bas en haut, le tirage se produise de haut en bas, de manière que les gaz s'échappent à la partie inférieure à travers la grille, l'air et la vapeur d'eau pénétrant à la partie supérieure. Le combustible distillera encore en s'enfonçant dans la cuve, mais cette fois les produits volatils, au lieu de s'élever, descendront avec l'air primaire, et viendront au contact de la zone



incandescente où se fait la combustion : là ils seront décomposés totalement, brûlés, et les produits de la combustion seront réduits dans la zone de coke qui doit nécessairement se trouver au-dessous.

Les gazogènes à deux zones (schéma IV) sont de création plus récente : ils sont construits de manière à réaliser deux zones de combustion distinctes F et G, la zone G étant située près de la partie supérieure où l'on charge le charbon frais ; on provoque ainsi la distillation du charbon dans cette zone, et les produits volatils formés doivent pour sortir de l'appareil traverser la zone principale F, où ils se détruisent complètement.

A. Le gazogène à deux cuves avait été déjà imaginé par Ebelmen

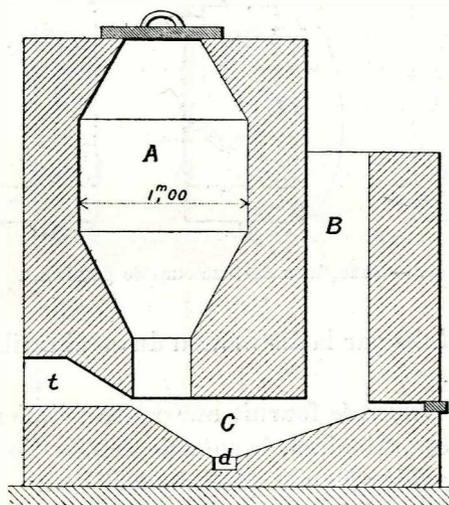


Fig. 101. — Gazogène à deux cuves d'Ebelmen.

qui, dans ses essais, semble avoir prévu tous les aspects intéressants de cette question si complexe. L'appareil qu'il avait combiné pour gazéifier le bois comprenait en effet une première cuve A où l'on plaçait les buches et dont on fermait la partie supérieure. Le feu était entretenu à la partie inférieure par de l'air insufflé par la tuyère *t*. Les gaz produits, chargés de matières goudroneuses, s'échappaient par le carneau C et remontaient à travers la seconde cuve B, de plus petites dimensions, remplie de charbon de bois. Au contact de cette colonne, les goudrons étaient complètement dissociés, et les gaz



qui s'échappaient de l'appareil ne contenaient sensiblement plus de matières condensables.

Les gazogènes à deux cuves actuellement construits dérivent directement du gazogène d'Ebellen.

Le gazogène autoréducteur à double combustion de Riché, cons-

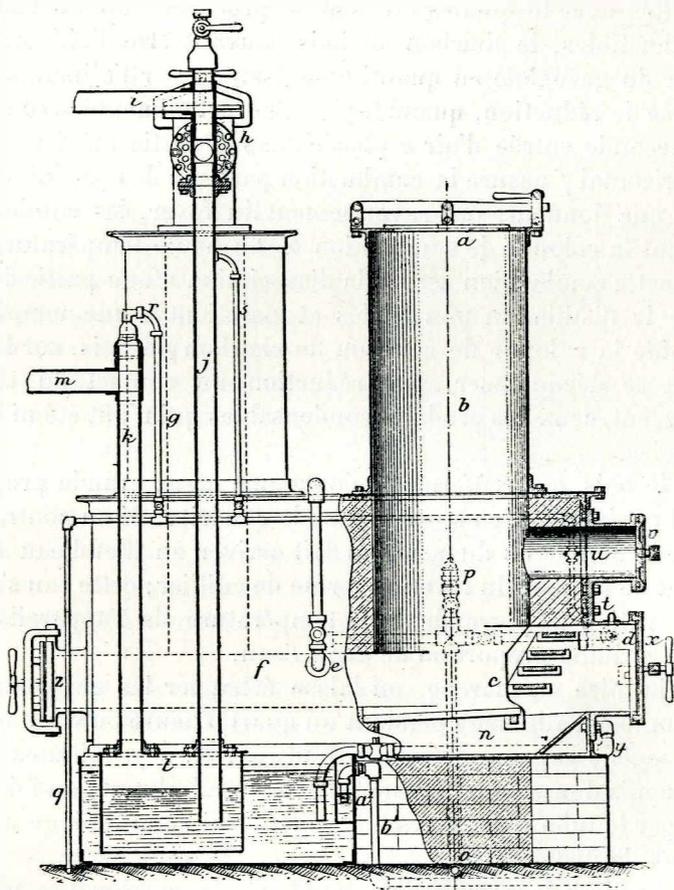


Fig. 102. — Gazogène auto-réducteur à double combustion de Riché.

truit pour gazéifier indistinctement le bois, la houille, les lignites ou le coke, en reproduit presque exactement la disposition :

Il se compose essentiellement (fig. 102) de deux cuves cylindriques *b* et *g*, réunies à leur partie inférieure par un carneau rectangulaire horizontal *f*. Les parois des deux cuves et du carneau sont consti-

tuées par des matériaux réfractaires avec chemise extérieure en tôle. A la partie inférieure de la cuve *b*, dite de combustion, se trouve le foyer proprement dit, le combustible brûlant sur la grille *c* grâce à l'air soufflé arrivant par la tuyère *d*.

Les produits de la combustion se rendent par le carneau *f* au-dessous de la colonne *g*, garnie de coke ou de charbon de bois, suivant les facilités avec lesquelles on peut se procurer l'un ou l'autre de ces combustibles, le charbon de bois pouvant être d'ailleurs retiré du foyer du gazogène en quantité suffisante pour l'alimentation de la colonne de réduction, quand le gazogène est alimenté avec du bois.

Une seconde entrée d'air *e* placée dans la partie médiane du carneau horizontal *f* assure la combustion partielle des produits de distillation que donnent, par rayonnement du foyer, les combustibles garnissant la colonne de combustion *b*. La haute température obtenue par cette combustion assure la dissociation d'une partie des produits de la distillation non brûlés et maintient à une température convenable la colonne de coke ou de charbon de bois, sur laquelle viennent se décomposer, par réduction au contact du charbon incandescent, ceux des produits condensables qui n'ont été ni brûlés, ni dissociés.

Avec le bois, qui renferme toujours une assez grande proportion d'eau, il est inutile d'en ajouter dans le cendrier. Si au contraire on brûle de la houille ou du coke, on fait arriver un filet d'eau sur les barreaux de la grille du foyer en forme de cuillier; cette eau s'oppose à une élévation trop grande de la température de l'appareil et produit une certaine proportion de gaz à l'eau.

Pour la mise en marche, on laisse échapper les gaz par *i* dans une cheminée d'allumage pendant un quart d'heure ou vingt minutes si le gazogène est complètement froid, six ou sept minutes s'il est arrêté depuis douze heures. Une fois l'appareil allumé, on fait passer les gaz par le tube *j* à travers le barillet *l* qui communique avec les conduites de distribution.

Quel que soit le combustible employé, la combustion effectuée horizontalement et sur une faible épaisseur évite la formation de mâchefers de dimensions sérieuses, et permet un décrassage rapide et facile de la grille.

Gazogènes Twaite. — Les gazogènes Twaite à deux cuves sont de deux modèles différents, selon qu'ils fonctionnent en marche réversible ou non.



Le *gazogène réversible* se compose de deux cuves verticales semblables, de 5 à 6 mètres de hauteur, réunies par le haut au moyen d'un carneau horizontal. L'air entre au bas de l'une des cuves, par une grille, traverse le charbon incandescent, et les gaz produits redescendent dans la seconde cuve pour ressortir un peu au-dessus de la grille. Au bout d'un certain temps, le charbon contenu dans la première cuve est porté à une température élevée, tandis que celui de la seconde s'est refroidi ; on renverse alors la marche, l'air rentre sous la grille de la seconde cuve et ressort au bas de la première. Ainsi les gaz produits dans l'une des cuves, et mélangés des matières volatiles distillées, passent au bas de la seconde sur du coke incandescent qui les purifie complètement.

Le défaut de ce gazogène est de nécessiter des changements de marche périodiques, et par suite de produire des variations correspondantes dans la composition du gaz, nécessitant l'emploi d'appareils de grandes dimensions de manière à obtenir un gaz de composition moyenne constante.

L'inventeur a imaginé une commande hydraulique ingénieuse du changement de marche : les vannes qui assurent l'ouverture ou la fermeture des conduites d'air et de gaz sont commandées par des chaînes passant sur des poulies solidaires de bennes en tôle dans lesquelles s'écoule continuellement un filet d'eau. Quand la benne est suffisamment pleine, elle bascule en faisant tourner la poulie, qui commande un changement de marche. Une seconde benne placée symétriquement commandera le renversement suivant et ainsi de suite.

Le *gazogène non réversible* ressemble beaucoup au gazogène Riché : l'une des cuves est destinée à contenir le combustible, la seconde contient du charbon de bois ou du coke ; elles sont toujours réunies par un carneau horizontal à leur partie supérieure et une rentrée d'air ménagée dans ce carneau produit la combustion d'une partie du gaz, assurant ainsi l'incandescence de la seconde colonne et la destruction complète des goudrons.

Cette destruction est si parfaite au dire de l'inventeur que l'on a pu introduire dans la première cuve, par la trémie de chargement, des matières liquides telles que brais, huiles lourdes ; ces liquides sont presque immédiatement volatilisés et les gaz formés vont se réduire sur la seconde colonne (Deschamps).

B. Gazogène Pintsch. — Ce gazogène (fig. 103) se compose d'une



cuve verticale cylindrique en terre réfractaire B, portant à sa partie supérieure un cylindre plus étroit en fonte A, par où s'écoule peu à peu le combustible introduit par la trémie E. Les gaz produits par la combustion sortent de l'appareil par l'ouverture F après avoir contourné le cylindre A, de sorte que la houille qui descend dans ce

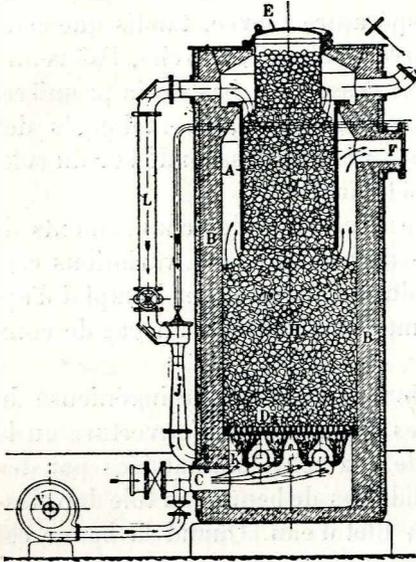


Fig. 103. — Gazogène Pintsch.

cylindre se trouve portée à une température élevée et perd progressivement ses matières volatiles. Les gaz résultants s'échappent à la partie supérieure du cylindre A et redescendent par le tuyau L, où ils sont aspirés par l'injecteur *j* et conduits sous la grille en K. Là ils se mélangent à l'air soufflé par le ventilateur V à travers la tuyère C, et traversent la grille D pour pénétrer dans la zone de charbon incandescent où ils se trouvent dissociés en carbone et carbures légers non condensables¹.

Ce gazomètre fonctionne avec des mélanges de coke et de houille ou avec de la houille de Silésie seule.

Gazogènes à briquettes de lignite de la Gasmotorenfabrick de Deutz. — Ce gazogène, du type aspirant, est destiné à brûler les briquettes de lignites qui contiennent beaucoup de matières volatiles et principalement d'humidité. Il est de forme rectangulaire, et la prise de gaz est ménagée dans la première moitié de la hauteur. La partie supérieure de la cuve forme ainsi chambre de distillation ; la vapeur d'eau et les gaz dégagés sont ramenés dans le cendrier sous la grille, de sorte que cet appareil ne comporte pas de chaudière.

C. Gazogène Loomis Pettibone. — Ce gazogène est construit en maçonnerie réfractaire. La grille a la forme d'une voûte maçonnée ;

¹ *Rev. Mét.*, 5 bis, 505 ; 1908.



deux portes latérales, l'une au-dessus, l'autre au-dessous de cette voûte permettent le décrassage.

L'air servant à la combustion se réchauffe d'abord dans le réchauffeur *b* en circulant entre des tubes verticaux que traverse de bas en haut puis de haut en bas le gaz venant du gazogène. En outre,

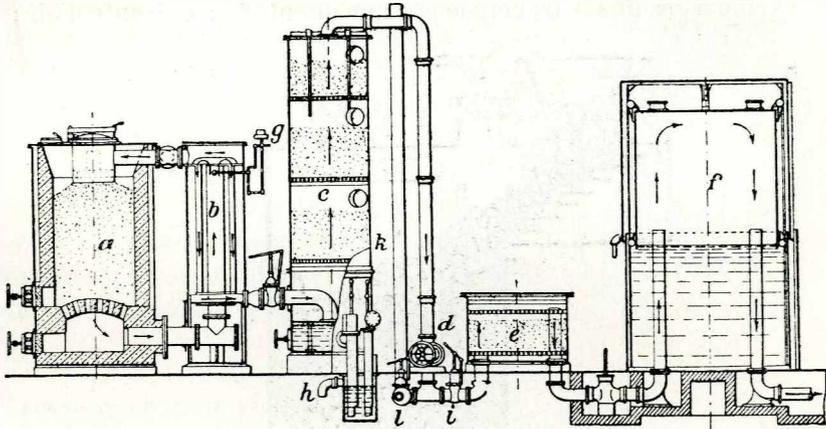


Fig. 104. — Gazogène Loomis Pettibone.

dans le tube central de ce même réchauffeur, débouche une conduite d'eau *g* qui en arrose la surface intérieure et produit ainsi la vapeur d'eau nécessaire pour la marche de l'appareil.

Le gaz sortant du réchauffeur traverse ensuite un scrubber *c* à plusieurs compartiments, contenant d'abord du coke arrosé d'eau, puis de la fibre de bois qui arrête l'humidité entraînée; l'épuration se termine à sec dans la boîte *e* et le gaz s'emmagasine dans le gazomètre *f*¹.

Entre le scrubber et l'épurateur *e* se trouve un ventilateur *d* qui produit l'aspiration nécessaire et refoule les gaz, soit dans la cheminée *k* au moment de la mise en marche, soit dans le gazomètre *f*.

Le gazogène système *Faugé*, qui a été essayé avec succès à l'usine de Saint-Gobain pour brûler le bois ou la houille en combustion renversée, présentait une disposition presque identique de régénérateur chauffant l'air primaire aux dépens des gaz chauds sortant du gazogène.

Gazogènes Letombe à combustion partielle préalable. — M. Le-

¹ Gén. civ., 58, 483; 1911.



tombe a imaginé plusieurs modèles de gazogènes destinés à la combustion des charbons gras, dans lesquels la combustion renversée est associée avec la combustion partielle préalable des gaz de la distillation, au moyen d'une prise d'air supplémentaire. Nous figurons ici (fig. 105) le modèle le plus connu : Le combustible est déversé sur une grille à gradins A traversée par une quantité insuffisante d'air ; il

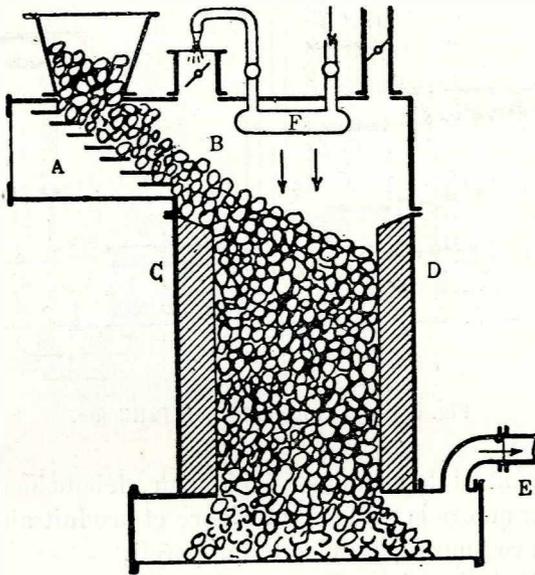


Fig. 105. — Gazogène Letombe à combustion partielle préalable.

en résulte une combustion réduite et surtout une distillation, dont les produits sont brûlés immédiatement dans le courant d'air principal d'insufflation, introduit au-dessus de la grille, avant de pénétrer dans la cuve du gazogène où se trouve en CD la zone de combustion proprement dite. On voit en F une petite chaudière traversée par l'air soufflé qu'elle sature de vapeur d'eau.

Dans un autre modèle du même inventeur l'air nécessaire à la combustion pénètre par une large conduite verticale qui plonge jusqu'au premier tiers environ de la cuve. Au sommet de celle-ci est une prise de gaz, munie d'un ventilateur, qui aspire les gaz de distillation et les refoule dans la conduite où ils se mélangent à l'air ; il résulte d'ailleurs de cette aspiration une dérivation vers le haut de la cuve de l'air insufflé, qui assure la combustion préalable des produits volatils.



D. Gazogène Kœrting. — Ce gazogène (fig. 106) a été construit pour brûler spécialement la tourbe ou les briquettes de lignite. La sortie des gaz B se trouve placée vers le tiers inférieur de la cuve. La zone principale de combustion se trouve à la partie inférieure au-dessus de la grille, et la chaleur dégagée maintient le charbon incandescent jusqu'au-dessus de cet orifice. C'est sur ce charbon que doivent passer les gaz goudronneux qui distillent de la partie supérieure, où une deuxième zone de combustion se trouve créée grâce à l'air secondaire introduit. On obtient un gaz suffisamment épuré pour pouvoir être employé dans les moteurs après simple lavage et filtration¹.

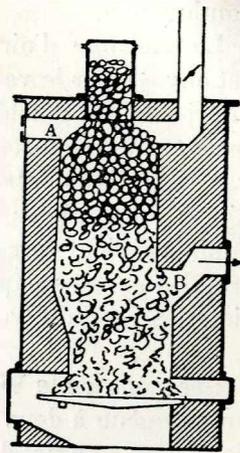


Fig. 106. — Gazogène Kœrting.

Gazogène Letombe. — Nous figurons ici (fig. 107) un dispositif

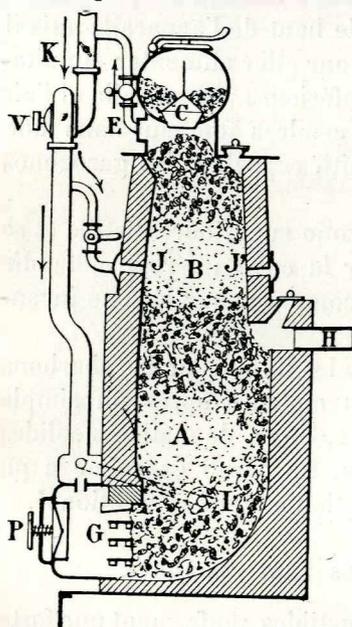


Fig. 107. — Gazogène Letombe.

imaginé par M. Letombe qui réalise à la fois le gazogène à deux zones et l'aspiration mécanique des produits volatils pour les envoyer sur le charbon incandescent. Il se compose de deux cuves superposées en briques réfractaires, l'orifice H de départ des gaz étant situé au sommet de la cuve inférieure. Une conduite E, branchée sur le tuyau d'aspiration du ventilateur V, crée dans le gazogène une dépression qui a pour effet de dériver vers le haut une partie des gaz produits dans la cuve inférieure. Ces gaz, en remontant, rencontrent l'air soufflé par le même ventilateur à travers les orifices J, J' ; il en résulte à ce niveau une deuxième zone de combustion qui provoque la distillation des matières volatiles du charbon neuf. Celles-ci commencent donc à brûler dès leur apparition, ce qui évite le

¹ Rev. Mét., 5 bis, 506 ; 1908.



boursoufflement de la masse et facilite la descente régulière du combustible.

Le mélange d'air et de produits volatils incomplètement brûlés est envoyé par le ventilateur en partie en JJ', et surtout dans la cuve inférieure, où il achève de se décomposer; avec les charbons ne contenant pas une forte proportion de matières volatiles, on doit charger l'air d'alimentation d'humidité au moyen d'une pulvérisation d'eau. Pour régler la production des gaz, un régulateur à cloche équilibré vient lorsqu'il monte en haut de sa course agir par des tringles sur des papillons qui obturent l'aspiration d'air et l'aspiration des produits volatils¹.

Gazogène de la Westinghouse Machine Company. — C'est encore un gazogène à deux cuves superposées, avec orifice de dégagement des gaz au sommet de la cuve supérieure dont le diamètre est notablement inférieur à celui de la cuve inférieure; sur l'épaulement qui en résulte on a placé une chaudière annulaire qui servira à saturer l'air d'alimentation. Celui-ci se réchauffe d'abord en parcourant une couronne creuse en fonte qui ferme le haut de l'appareil; puis il passe dans le saturateur, et il se divise pour aller alimenter simultanément la zone supérieure et la zone inférieure. Dans celle-ci l'air pénètre par une tuyère centrale et les cendres tombent dans une cuvette remplie d'eau, suivant un dispositif rappelant les gazogènes Dowson.

Dans ces conditions le charbon de la zone supérieure distille et se transforme en coke qui vient alimenter la cuve inférieure, tandis que les produits volatils viennent se décomposer sur la zone incandescente.

Le gaz produit dans cet appareil avec les lignites ou les charbons bitumineux peut être employé dans les moteurs après un simple lavage; il contient normalement de 1 à 1,6 mgr. de matières solides par mètre cube, mais pas de goudrons. Un pareil gazogène a pu fonctionner pendant un an sans interruption et sans réparations².

GAZOGÈNES POUR COMBUSTIBLES TRÈS CENDREUX

L'emploi dans les gazogènes de combustibles renfermant une forte proportion de cendres demande des dispositifs spéciaux. Tous utilisent

¹ *Bull. Soc. Ing. Civ.*, 59, 51; 1908.

² *Ir. Age*, 84, 1916; 1909. — *Rev. Mét.*, 7 bis, 300; 1910.



l'air soufflé. Nous citerons en particulier les gazogènes Kerpely que leur construction particulière rend précieux dans ces circonstances.

Gazogène Kerpely. — Ce gazogène, d'origine autrichienne, est

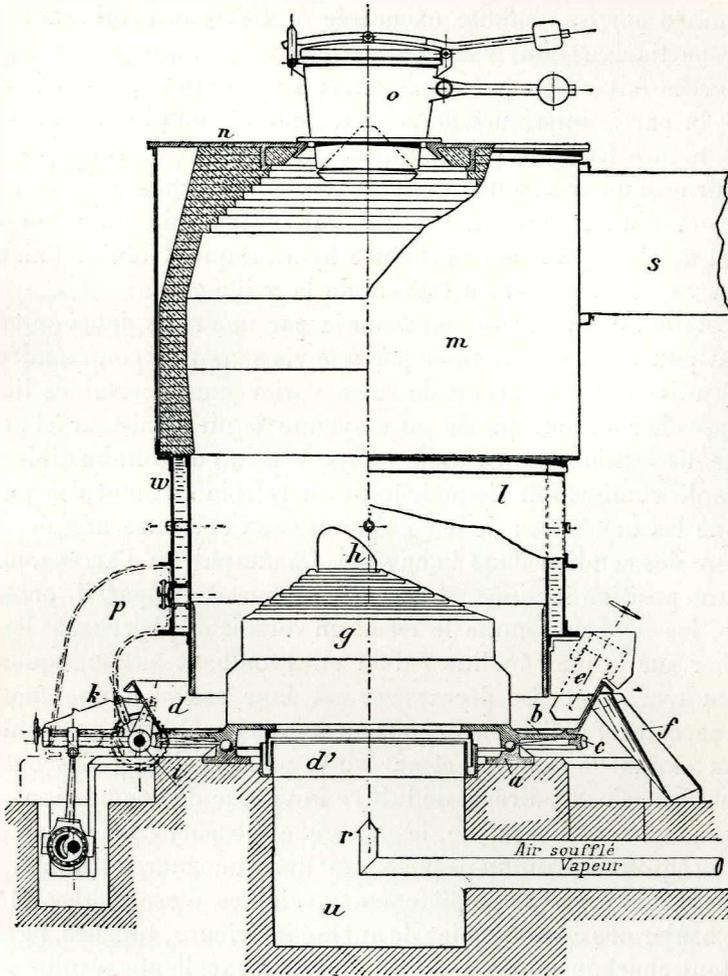
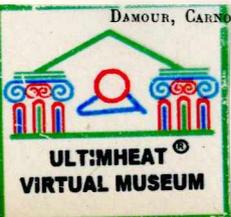


Fig. 108. — Gazogène Kerpely.

fabriqué en France par la maison Bouchayer et Viallet. Il se compose d'une cuve en tôle d'acier garnie à sa partie supérieure *m* de matériaux réfractaires et refroidie à sa partie inférieure par un water-jacket *w*; cette cuve est supportée par trois pieds cintrés en fonte *p*



laissant le dessous complètement libre, de sorte qu'elle se trouve suspendue au-dessus de la grille. Celle-ci a une forme tout à fait particulière : elle comporte une partie conique surélevée *g*, formée de plateaux épais superposés, laissant passer dans leurs intervalles l'air et la vapeur d'eau injectés au-dessous dans la chambre *u*, et terminée par une calotte excentrée *h*. Les gaz comburants sont ainsi répartis dans tout le foyer.

La grille fait corps avec une cuvette en fonte *bd*, dans laquelle plonge la partie inférieure de la cuve, et qui, remplie d'eau, réalise une fermeture hydraulique de l'appareil. Cette cuvette n'est pas fixe : elle tourne d'un mouvement lent mais continu autour de son axe, au moyen d'un roulement à billes, sur l'anneau de fondation et de support *a*. Une deuxième fermeture hydraulique *d'* oblige l'air soufflé et la vapeur à passer au travers de la grille *g*.

La rotation de la cuvette est assurée par une roue dentée *c* taillée sur son pourtour, et actionnée par une vis sans fin *i* commandée par un mécanisme *k* permettant de faire varier entre certaines limites la vitesse de rotation, qui est en moyenne de un demi-tour à l'heure.

Cette disposition assure un brassage continu du combustible dans la zone de combustion, lequel, joint au refroidissement des parois, empêche les mâchefers de se coller entre eux et assure une descente régulière des cendres dans la cuvette. Là une palette d'arrêt *e*, placée dans une position inclinée, et fixe par rapport à l'appareil, arrête et soulève les cendres comme le ferait un versoir de charrue, et les fait retomber sur le plan incliné *f* d'où elles tombent automatiquement dans un wagonnet. Le décrassage est donc assuré d'une manière continue, et il suffit d'enfoncer plus ou moins la palette *e* pour enlever plus ou moins de cendres et par suite pour régler la descente du combustible, c'est-à-dire en définitive la vitesse de combustion.

Par sa construction même, le gazogène Kerpely assure une combustion régulière et automatique permettant une marche ininterrompue, les cendres étant complètement exemptes d'escarbilles. Il permet de brûler des combustibles de qualité inférieure, tourbes, lignites, et surtout charbon cendreux. On a obtenu d'excellents résultats avec des déchets d'anthracite de La Mure, dits « barrés », dont la composition était la suivante :

Carbone fixe.	71,76 à 63,45
Matières volatiles.	4,58 4,50
Humidité	3,31 3,60
Cendres.	23,35 28,45



A cause de l'allure parfaitement régulière de l'appareil, ne nécessitant à aucun moment l'ouverture de portes ou l'arrêt de l'air soufflé pour le décrassage, la composition des gaz produits est remarquablement constante et correspond à une proportion très faible d'acide carbonique.

Gazogène Letombe. — Cet appareil¹ se compose (fig. 109) d'une

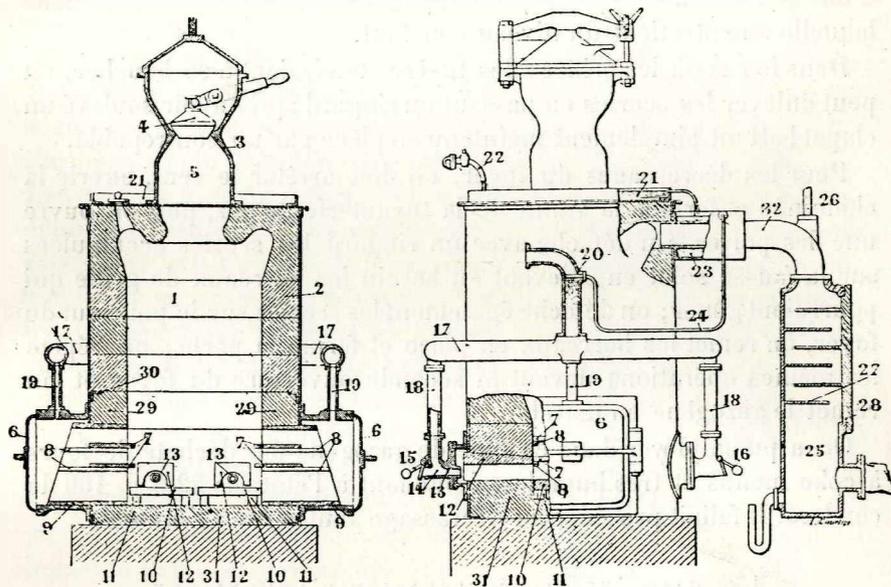


Fig. 109. — Gazogène Letombe pour combustibles très cendreux.

cuve cylindrique en briques réfractaires (2) avec enveloppe en tôle et trémie de chargement à double fermeture. Le foyer n'a pas à proprement parler de grille. En face de 2 ouvertures opposées fermées par des portes (6) se trouvent une série de barreaux plats (7) placés les uns au-dessus des autres et complètement amovibles sur supports. Ces barreaux forment simplement barrage pour éviter l'éboulement du combustible. Le fond du foyer est constitué par une fausse sole formée de plaques réfractaires (10) supportées par des tasseaux de même matière (11).

Au niveau de la fausse sole débouchent 4 tuyères (13) disposées deux par deux dans un sens perpendiculaire aux portes, et par les-

¹ Bull. Soc. Ing. Civ., 59, 51, 1908.



quelles arrive la plus grande partie du vent soufflé distribué par un tuyau circulaire entourant le gazogène. Le dessus des portes du foyer ne reçoit qu'une faible dérivation d'air (19) de façon à éviter des remous de gaz chauds dans les capacités vides comprises entre les portes et les barreaux.

L'air soufflé est humidifié en proportion convenable par une pulvérisation d'eau chaude dans la conduite ; cette eau chaude provient d'une double enveloppe (23) du tuyau de sortie du gazogène dans laquelle on entretient un niveau constant.

Dans le cas où les orifices des tuyères tendraient à se boucher, on peut enlever les scories en passant un ringard après avoir soulevé un clapet battant simplement maintenu en place par un contrepoids.

Pour les décrassages du foyer, on doit arrêter le vent, ouvrir la cheminée et fermer la vanne de la tuyauterie de gaz, puis on ouvre une des portes. On détache avec un ringard les scories accumulées sur la fausse sole, en enlevant au besoin les barreaux de grille qui pourraient gêner ; on détache également les scories sur le pourtour du foyer, on remet les barreaux en place et ferme la porte ; on répète les mêmes opérations devant la seconde ouverture du foyer et on remet le gazogène en marche.

On a pu employer dans ce type de gazogène des déchets de fours à coke menus et très humides, contenant à l'état sec 22,3 p. 100 de cendres. Il fallait procéder au décrassage toutes les 40 minutes.

LES GAZOGÈNES A RÉCUPÉRATION D'AMMONIAQUE

Gazogène Mond. — Le gazogène Mond est un gazogène à gaz mixte qui a été construit spécialement pour recueillir sous forme d'ammoniaque l'azote des houilles bitumineuses anglaises. Le gaz qu'il donne n'est plus alors qu'un sous-produit, que l'on utilise comme on se sert du gaz de hauts fourneaux, pour chauffer des fours ou pour faire fonctionner des moteurs à explosion.

Pour avoir un rendement élevé en ammoniacque, il est nécessaire de produire la gazéification de la houille à une température très basse. Les gazogènes ordinaires fonctionnent à une température trop élevée, et la plus grande partie de l'ammoniacque est décomposée et se retrouve sous forme d'azote libre.

L'idée originale de Mond consiste à faire traverser le gazogène par un très grand excès de vapeur d'eau : deux fois et demie le poids du charbon, soit cinq fois la quantité théorique ; dans ces conditions



une partie seulement est décomposée, les deux tiers servent simplement de diluant et se retrouvent dans le gaz produit, dont la température, à la sortie de l'appareil, n'est plus que de 450° à 500°.

On voit que la production du gaz Mond nécessite la consommation d'une énorme quantité de vapeur. Celle-ci se trouvait fournie gratuitement, à l'usine de Northwich où fut créée l'installation qui nous occupe, par l'échappement des machines à vapeur de l'usine, fonctionnant sans condensation.

Le gazogène Mond présente les dispositions générales des gazogènes à gaz mixte : il comprend une cuve circulaire D de grandes dimensions, 7 mètres de hauteur sur 6 mètres de diamètre, terminée à sa partie inférieure par des étalages E en maçonnerie qui se prolongent par une grille tronconique F. Le mélange d'air et de vapeur qui doit alimenter le gazogène, circule d'abord dans une double enveloppe en tôle qui entoure l'appareil et où sa température se trouve portée à environ 250°; puis il arrive dans un cône H en tôle pleine qui enveloppe la grille et dont le bas plonge dans une cuve pleine d'eau G, réalisant de la sorte une fermeture hydraulique. Les gaz sortent latéralement, après avoir circulé autour d'un manchon en tôle C par lequel le combustible pénètre dans la cuve. L'introduction du combustible s'effectue à l'aide d'un immense entonnoir A en tôle, placé directement au-dessus de la trémie de chargement B à double fermeture.

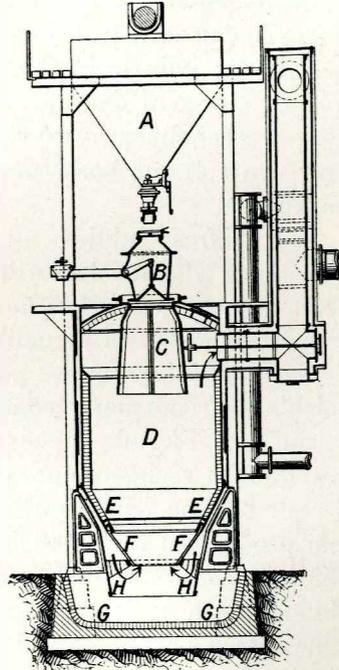


Fig. 110. — Gazogène Mond pour la récupération de l'ammoniaque.

Au sortir de l'appareil, les gaz chauds, contenant environ 0,13 p. 100 d'ammoniaque, traversent d'abord une sorte de récupérateur formé de tuyaux d'orgues en tôle autour desquels circule l'air qui servira à alimenter le gazogène. Là commence leur refroidissement, qui se poursuit dans une grande caisse où ils se trouvent en contact avec de l'eau constamment remuée et pulvérisée par des roues à aubes; leur température est ainsi ramenée à environ 90°; ils pénètrent



ensuite dans une tour d'absorption garnie de briques que l'on arrose avec une solution d'acide sulfurique, ou plutôt de sulfate d'ammoniaque acide contenant 47 p. 100 d'acide libre, qui absorbe mieux l'ammoniaque. Les gaz traversent la tour de bas en haut et se dépouillent presque complètement de leurs produits basiques ; ils sont ensuite lavés dans une seconde tour au moyen d'eau froide, que l'on recueille au bas à une température d'environ 80°. Cette eau sera envoyée dans une troisième tour où l'on fera circuler au moyen d'un ventilateur l'air froid destiné à l'alimentation des appareils, et qui s'y chargera de vapeur d'eau en même temps qu'il commencera à s'échauffer avant de pénétrer dans le récupérateur de chaleur. On voit que l'on régénère ainsi le mieux possible les chaleurs perdues.

Les chiffres publiés au sujet de la première installation des gazogènes à l'usine de Northwich ne permettaient pas de prévoir une économie sérieuse : Les houilles traitées contenaient en moyenne 2 p. 100 d'azote ; on recueillait sous forme de sulfate d'ammoniaque environ 50 kilogrammes par tonne. Mais il faut tenir compte, pour calculer le rendement économique, de la vapeur d'eau dépensée. A raison de 2,5 kg. de vapeur par kilogramme de houille, et en comptant que les récupérateurs permettent d'en retrouver 1 kilogramme, il reste comme consommation 1,5 kg. de vapeur consommant pour leur production 15 p. 100 de houille, soit un déficit de 22 p. 100 du poids de charbon traité. L'exploitation qui était économique aux usines Mond, grâce à l'abondance de la vapeur d'échappement, pouvait donc cesser de l'être dans d'autres usines où l'on n'aurait pas disposé d'une source gratuite de vapeur.

D'autre part, si l'on essaie de réduire la quantité de vapeur envoyée dans le gazogène, on diminue énormément le rendement en ammoniaque. C'est ainsi qu'en ne consommant que 1,8 kg. de vapeur par kilogramme de houille au lieu de 2,5 kg., on ne retrouve plus par tonne de houille que 30 à 35 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque au lieu de 50.

Cependant les installations de ce genre se sont beaucoup développées dans ces dernières années en Angleterre, ce qui prouve qu'elles réalisent une économie notable malgré la dépense plus grande de vapeur. On crée maintenant des installations considérables, de manière à avoir la force motrice à bas prix pour les centrales électriques.

La maison Crossley, qui s'est beaucoup occupée de la récupération



de l'ammoniaque dans les gaz de gazogènes, est arrivée à modifier et à simplifier considérablement les appareils de lavage précédemment décrits, et à supprimer deux des tours d'absorption, ce qui réduit sensiblement les frais de premier établissement et d'exploitation¹; les gaz, en sortant du gazogène, traversent toujours le récupérateur à jeu d'orgues, et l'absorption de l'ammoniaque se produit ensuite en entier dans une caisse avec roues à aubes projetant la solution sulfurique. Cette solution s'échauffe en même temps qu'elle refroidit le gaz; le liquide chaud est envoyé au sommet d'une tour, dans laquelle on fait circuler de bas en haut l'air qui servira à alimenter le gazogène. On réalise ainsi en même temps l'échauffement préalable et la saturation de cet air, et le refroidissement de la solution sulfurique, qui du bas de la tour est ramenée à la caisse d'absorption, et ainsi de suite.

On cherche de plus en plus à utiliser des charbons de qualité inférieure. Le gazogène Mond se prête très bien à l'emploi des poussières; pour les combustibles très cendreaux, on se sert du *gazogène Trump*, de la Compagnie américaine Solvay Process Company, qui est un gazogène Mond muni d'un dispositif mécanique de décrassage et d'enlèvement des cendres.

On a trouvé que l'on pouvait sans inconvénient remplacer le plomb par l'acier doux pour le doublage des tours à absorption d'ammoniaque: l'acier n'est pas attaqué par l'acide sulfurique à 2 p. 100 ainsi qu'en témoignent des installations en service depuis deux ans.

On a pu obtenir lors des essais des rendements de 3 900 mètres cubes de gaz et 27,5 kg. d'ammoniaque par tonne de houille².

ÉPURATION DES GAZ DE GAZOGÈNES

Les gaz produits dans les gazogènes ne sont en général pas épurés quand on doit les employer au chauffage proprement dit. Il n'en est pas de même si l'on veut les utiliser dans les moteurs à explosion: toute installation de gazogènes devra dans ce cas être complétée par des appareils d'épuration.

Les impuretés dont on doit se débarrasser sont de deux sortes: les matières en suspension et les impuretés gazeuses. Les premières sont constituées par les poussières et les vésicules de goudrons.

¹ Rev. Métal., 489, 5 bis, 1908.

² Weil, Monit. Sc., (3), 1, II, 467; 1911.



Malgré les différents perfectionnements que nous venons de signaler plus haut et qui ont pour but de détruire les matières goudroneuses, on n'arrive en effet presque jamais à une élimination complète ¹ : celle-ci ne deviendra définitive qu'après une *épuración physique* convenable ; quant aux gaz, le seul qui soit gênant est l'hydrogène sulfuré, dont la combustion donne de l'acide sulfureux et aussi un peu d'acide sulfurique, lequel attaquerait rapidement les parois métalliques. On devra donc l'éliminer par une *épuración chimique*.

Il est d'abord nécessaire de refroidir le gaz qui sort du gazogène à une température élevée ; dans un certain nombre d'appareils on utilise cette chaleur dans des régénérateurs de manière à produire la vapeur d'eau nécessaire au fonctionnement du gazogène. On emploie aussi assez fréquemment des tuyaux d'orgues analogues à ceux en usage dans les usines à gaz d'éclairage. Pour les gazogènes à aspiration, où l'on cherche à diminuer le plus possible l'encombrement de l'installation, on produit à la fois le refroidissement et le lavage du gaz dans un scrubber, c'est-à-dire dans une colonne en tôle garnie de coke que l'on arrose au moyen d'un courant d'eau froide. On divise fréquemment les scrubbers en plusieurs étages, que l'on garnit avec des matières filtrantes de plus en plus fines ; on peut ne faire l'introduction de l'eau que dans les compartiments inférieurs, et remplir les compartiments du haut de matières pulvérulentes qui dessèchent le gaz : on emploie par exemple à cet effet la sciure ou la fibre de bois. D'autres fois les filtres à sciure sont constitués par des appareils séparés.

On emploie encore pour éliminer les goudrons des séparateurs à chocs obligeant les gaz à éprouver des changements brusques de direction, de telle sorte que les poussières ou huiles qu'ils entraînent viennent se coller sur les parois. Nous figurons par exemple ici un séparateur de ce genre employé par la Gasmotorenfabrick de Deutz. Il est constitué par une enveloppe cylindrique A, fermée par un obturateur latéral démontable B, et que le gaz traverse de haut en bas. On introduit dans cette enveloppe un cylindre C reposant par un rebord étanche sur sa paroi inférieure, puis dans ce cylindre, successivement, un disque annulaire D percé d'un orifice central à rebord cylindrique E sur lequel on pose un cylindre de diamètre plus grand F reposant sur D par des pattes d'écartement, laissant

¹ Signalons que de tous les combustibles, ce sont les grésillons de coke qui donnent les goudrons les plus gênants et les plus difficiles à détruire.



entre lui et le disque D un espace suffisant pour le passage des gaz et fermé par un fond G. Sur les pattes d'écartement supérieures de ce cylindre F on place un second disque évidé D, puis sur ce dernier un second cylindre F, enfin sur celui-ci un troisième groupe formé d'un disque D et d'un cylindre F.

Enfin toute cette garniture est assemblée et maintenue, sans jeu vertical, dans le cylindre C par des traverses à vis de calage H. Le gaz passe successivement par l'orifice central des disques D, E, et sous les cylindres fermés F, G, et subit par suite une série de chocs et de changements de direction qui assurent la séparation du goudron entraîné avec lui à l'état vésiculaire ¹.

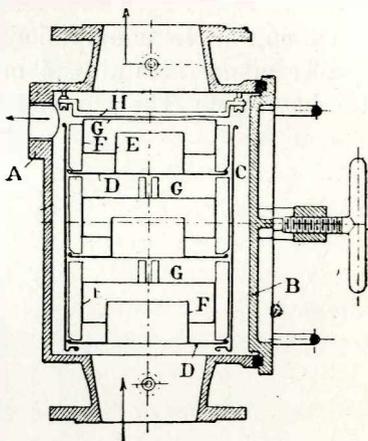


Fig. 111.

On peut également effectuer l'épuration physique à l'aide de laveurs rotatifs identiques à ceux qui sont employés pour les gaz de hauts fourneaux, et que nous étudions plus bas.

L'épuration chimique s'effectue au moyen de mélanges oxydants placés dans des caisses à cloisons horizontales à claire-voies. On emploie toujours comme oxydant l'oxyde de fer, soit l'oxyde naturel, mélangé à de la chaux éteinte, soit plutôt le mélange de Laming comme pour le gaz d'éclairage.

Épuration des gaz de hauts fourneaux. — L'épuration des gaz de hauts fourneaux est rendue plus difficile par l'énorme quantité de poussières dont ces gaz sont chargés (de 2 à 13 grammes par mètre cube). Quand on ne les emploie qu'au chauffage, on se borne à condenser les plus grosses poussières en faisant circuler les gaz lentement dans des conduites de gros diamètre ou dans des chambres à chicanes ; mais la purification pour les moteurs à explosion doit être poussée beaucoup plus loin. On emploie dans ce but des appareils statiques ou dynamiques, c'est-à-dire fonctionnant sans force motrice ou avec l'aide de la force motrice. Les premiers sont des laveurs ou des scrubbers à coke ou à sciure, ou encore des appareils à chocs,

¹ Gén. civ., 57, 231 ; 1910.



semblables comme fonctionnement à ceux que nous avons mentionnés plus haut.

Les appareils du système dynamique sont constitués par des ventilateurs centrifuges dans lesquels on envoie à la fois de l'eau et les gaz à épurer. Leur emploi a été breveté en 1892 par Theisen, bien que la même idée ait été mentionnée dès 1883 par Windhausen. Le brevet de Theisen consiste « à maintenir une couche d'eau

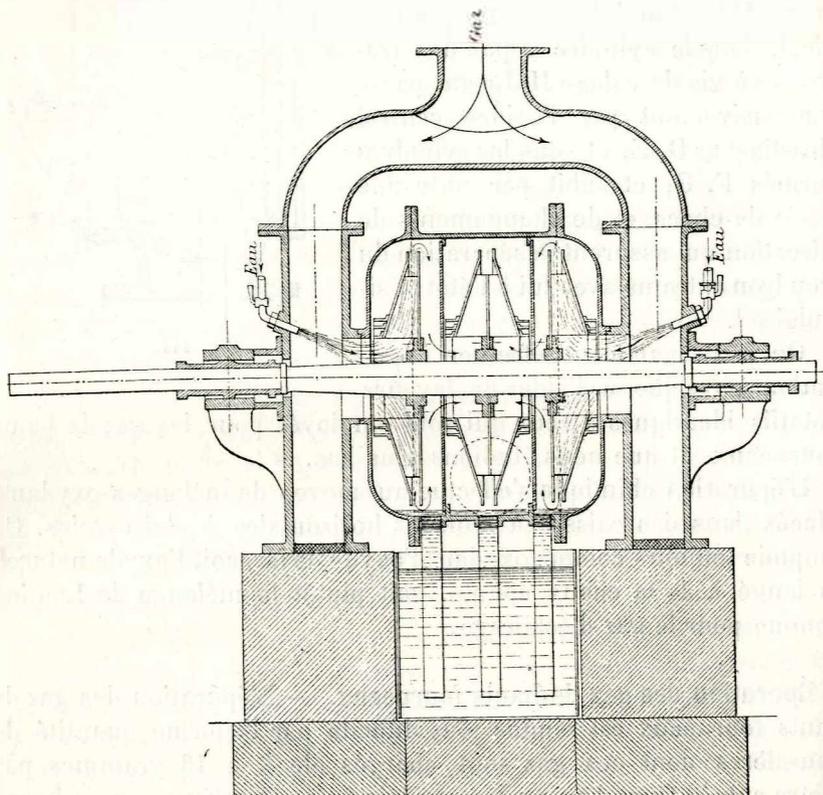


Fig. 112. — Ventilateur-épurateur Lencauchez.

animée d'un mouvement de rotation sur la paroi interne d'un cylindre fixe dans lequel tourne à grande vitesse un tambour à ailettes ; le gaz chargé de poussières est aspiré et comprimé sur la couche d'eau mobile ; la chaleur apportée par le gaz transforme dans la première partie de l'appareil une certaine quantité de l'eau de lavage en vapeur et produit par là un mélange de gaz et de vapeur qui humidifie les particules les plus fines des poussières. Par suite

de la condensation ultérieure de ce mélange de gaz et de poussières dans les autres parties de l'appareil, au moyen d'eau, les particules solides sont précipitées et séparées. »

L'appareil primitif de Theisen a été modifié de diverses façons et remplacé par des ventilateurs de construction courante ; c'est ce que l'on a fait en particulier aux usines de Differdange et de Micheville. M. Lencachez a imaginé pour le lavage des gaz de hauts fourneaux plusieurs dispositifs de ventilateurs : celui que nous figurons ici (fig. 112) se compose de deux demi-ventilateurs extérieurs montés sur le même axe qu'un ventilateur central placé entre eux. Le gaz et l'eau sont aspirés des deux côtés et projetés par les demi-ventilateurs dans le ventilateur central qui complète l'épuration.

On emploie également en Allemagne les épurateurs centrifuges du système Savary qui sont des ventilateurs à tambour se rapprochant du type de Theisen.

L'avantage des appareils dynamiques est d'occuper très peu de place, tandis que les laveurs statiques sont très encombrants ; par contre les ventilateurs consomment de la force motrice, et dépensent également beaucoup plus d'eau. Généralement on commence le dégrossissage dans des tours de lavage et on le termine dans les ventilateurs. Au sortir de ces appareils, il est bon de filtrer le gaz sur de la sciure de bois ou sur des toiles pour le débarrasser de l'eau entraînée.

Épurateurs électrostatiques. — Nous devons mentionner, bien qu'il ne paraisse pas être entré dans la pratique, un mode original d'épuration indiqué par M. Twaite. C'est le *séparateur électrostatique* : cet appareil se compose d'une chaîne barbelée, animée de secousses périodiques, et suspendue suivant l'axe d'un cylindre vertical dont elle est isolée et dans lequel circulent les gaz chauds venant du haut fourneau ; la chaîne est reliée à un circuit à haute tension. L'action de la différence de potentiel électrise les poussières, d'après M. Twaite, et les colle les unes aux autres. Il est évident que les phénomènes d'ionisation qui doivent se produire dans ces conditions au sein du gaz ne sont pas étrangers au fonctionnement du système. Il est avantageux d'employer les gaz aussi chauds que possible. L'appareil ne laisserait pas plus de 0^{sr},55 de poussières par mètre cube ; il constituerait donc un excellent dégrossisseur à placer avant les filtres à sciure par exemple.



D. — L'AIR CARBURÉ

On sait que l'air forme avec les vapeurs inflammables des mélanges détonnants, mais qu'il existe pour chaque mélange deux limites de composition, l'une inférieure, l'autre supérieure, en dehors desquelles l'explosion ne peut plus se produire. Avec les liquides très volatils, tels que l'essence de pétrole, la composition qui correspond à la saturation de l'air à la température ordinaire est bien au delà de la limite supérieure, de sorte que l'air ainsi saturé de vapeur inflammable ne peut plus détonner, mais est susceptible de brûler au contact d'un excès d'air pur ou de constituer avec cet excès d'air un mélange détonnant : il est ainsi devenu un combustible gazeux spécial que l'on appelle *air carburé*.

La carburation de l'air peut se faire au moyen de liquides quelconques, pourvu qu'ils soient inflammables et suffisamment volatils. C'est le pétrole léger qui est le plus employé. On utilise également le benzol, l'alcool, les huiles légères de schistes, et parfois l'éther, l'acétone.

Carburation à l'essence de pétrole. — Nous avons vu que les pétroles sont des mélanges très complexes de carbures homologues. L'essence de pétrole d'origine américaine renferme principalement les carbures saturés compris entre le pentane (bouillant à 38°) et l'octane (bouillant à 124°).

Voyons quelle serait la composition d'un air saturé à 15° des vapeurs de chacun de ces constituants purs :

La tension de vapeur du pentane (isopentane) à 15° est, d'après Sorel, de 475 millimètres de mercure. La composition de l'air saturé de ces vapeurs sous la pression de 760 correspondra donc à 475 volumes de pentane pour $760 - 475 = 285$ volumes d'air, soit, en gros, un peu moins de 1/2 volume d'air pour 1 volume de vapeur.

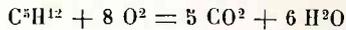
D'autre part la limite supérieure d'inflammabilité des mélanges d'air et de vapeur de pentane correspond, d'après Eitner¹, à une

¹ *Journ. Gasb.*, 1902, p. 1.



proportion de 4,9 p. 100 de vapeurs, c'est-à-dire que l'air carburé au pentane cesse d'être explosible dès qu'il renferme, pour 1 volume de vapeur, moins de 19,41 volumes d'air. On voit que l'air saturé de pentane est très en dehors de cette limite.

L'équation de combustion



montre que la combustion complète correspond à un mélange de 1 volume de vapeur de pentane et de 8 volumes d'oxygène, ou encore de 40 volumes d'air, en comptant pour simplifier que l'air renferme le $\frac{1}{5}$ de son volume d'oxygène. Si donc nous voulons, par une addition convenable d'air pur, amener de l'air saturé de pentane à la composition du mélange détonnant théorique, nous devrons, à 1 volume $\frac{1}{2}$ de cet air saturé, contenant 1 volume de vapeur de pentane, ajouter $40 - 0,5 = 39,5$ volumes d'air pur, c'est-à-dire le diluer de $\frac{39,5}{1,5} = 26$ fois son volume d'air.

Avec l'hexane, dont la vapeur ne possède plus à 15° qu'une tension de 95 millimètres, l'air carburé contiendra 95 volumes d'hexane pour $760 - 95 = 665$ volumes d'air pur, soit à peu près 1 volume d'hexane pour 7 volumes d'air pur ; on est encore en dehors de la limite d'inflammabilité.

Avec l'heptane on s'en rapprocherait davantage, car la tension de vapeur de ce carbure est encore plus faible. Il sera donc indiqué, pour avoir un gaz fortement carburé, d'effectuer la carburation avec des essences très légères. De plus la composition de ces essences variera rapidement par suite de leur distillation partielle ; on devra donc employer des produits fractionnés avec soin de manière à passer entièrement à la distillation dans des limites de température aussi rapprochées que possible.

L'évaporation du liquide carburant, en abaissant la température, tend à modifier la composition du gaz produit. Les variations de la température ambiante produisent le même effet. On obtient de meilleurs résultats en produisant la carburation à chaud. Dans ce cas on doit éviter la saturation complète de l'air à cette température, sans quoi l'excès de carburant se condenserait ultérieurement dans les conduites froides. On y parvient en ne laissant au contact de l'air qu'une quantité limitée et calculée de liquide.

Les appareils destinés à produire l'air carburé peuvent se diviser, comme les gazogènes, en appareils à aspiration et appareils à pression. Les premiers sont destinés à assurer l'alimentation des moteurs



NOM DU CARBURANT	DENSITÉ	TENSION de vapeur à 20°.	POINT d'ébullition commençante.	POINT de solidification.	PUISSANCE spécifique.		QUANTITÉ DE CARBURANT à ajouter à 1 litre d'air à 0°,760 mm. pour la combustion complète.	
					par kilogram.	par litre.	grammes.	centim. cubes.
Essence légère	0,700	296	50	« — 100	11 46,4	8 025	0,08434	0,1205
Benzol 90 p. 100	0,885	122	81	« — 6 ou — 8	10 033	8 879	0,09615	1,1086
Alcool dénaturé	0,835	51	78,4	« — 100	5 954	4 971	0,16829	0,2018
Alcool carburé	0,854	106	67	De — 11 à — 20	7 878	6 728	0,12168	0,1425

à explosion. La plupart fonctionnent par injection d'une quantité dosée d'essence dans l'air à carburer, au moyen d'un *gicleur*. Nous ne nous en occuperons pas dans cet ouvrage.

Les carburateurs à pression fournissent un gaz que l'on peut distribuer par une canalisation comme du gaz d'éclairage. A ce titre ils sont intéressants pour remplacer ce dernier dans les petites installations d'éclairage ou de chauffage situées loin des agglomérations urbaines et dont le peu d'importance ne justifie pas l'installation d'un gazogène.

La plupart de ces appareils se composent d'un ventilateur ou compteur à gaz renversé, mù par un mouvement d'horlogerie ou par un petit moteur à air chaud, et qui fait passer l'air dans le carburateur. Celui-ci peut fonctionner à froid ou avec réchauffement; par injection d'essence comme les carburateurs d'automobiles ou par barbottage de l'air dans un excès d'essence; ce dernier procédé, le plus ordinairement employé, est d'ailleurs le moins bon, l'évaporation progressive du carburant l'appauvrissant de plus en plus en éléments volatils et amenant une diminution progressive de la richesse du gaz.

Le mouvement du ventilateur est ordinairement réglé par un frein commandé par un petit gazomètre, de telle sorte que l'envoi de l'air s'arrête quand le gazomètre est rempli, et ne reprenne que quand la consommation du gaz recommence.

Au lieu d'essence de pétrole, on peut employer, comme carburant, un liquide volatil combustible quelconque; par



exemple le benzol, ou l'alcool (dénaturé ou carburé). Nous donnons dans le tableau ci-contre (p. 462) quelques propriétés caractéristiques de ces différents liquides.

On voit qu'à 20°, 1 litre d'air saturé de vapeurs d'alcool n'en contient que $\frac{51}{760} = 67$ centimètres cubes. Le rapport des volumes de la vapeur saturée et de l'alcool est $\frac{51}{709} = \frac{1}{13,9}$.

Or cette composition est précisément comprise entre les deux limites d'inflammabilités, qui sont d'après Eitner de 6,33 et 24,3 volumes d'air pour un volume de vapeur; elle correspond très sensiblement à la formule de combustion complète, qui exige 13 volumes d'air.

On peut donc se servir de l'air carburé à l'alcool dans un moteur à explosion, ou dans un chalumeau, mais on ne peut l'utiliser comme gaz combustible proprement dit, pouvant brûler sans danger au contact d'un excès d'air, à moins d'opérer la carburation à une température notablement plus élevée.

L'air carburé au benzol seul a un pouvoir calorifique généralement considéré comme trop faible (1 630 calories pour une température de 3°); on préfère employer un mélange de benzol et d'essence de pétrole, qui relève notablement le pouvoir calorifique et permet d'atteindre facilement 3 000 calories.

Enfin on a parfois proposé de se servir d'autres liquides carburants: par exemple l'éther sulfurique (oxyde d'éthyle), qui possède une très grande tension de vapeur à la température ordinaire, et dont le pouvoir calorifique est de 8 700 calories par kilogramme. Cet éther, placé dans des bidons garnis d'un absorbant (bois exotique très poreux) permettrait de préparer très facilement un air carburé très riche (alcoolène)¹. On ne se sert guère en pratique de l'éther que pour alimenter les lampes à chalumeaux pour les appareils à projections; on emploie dans le même but, avec moins de danger, l'essence de pétrole ou l'acétone.

¹ G. ARACHEQUESNE, *Congrès des applications de l'alcool dénaturé*, 1902; p. 249.



E. — LES GAZ POUR CHALUMEAUX

Nous dirons quelques mots ici sur la préparation des gaz destinés à l'alimentation des chalumeaux, dont l'emploi prend de jour en jour plus d'importance dans les différentes industries.

§ 1. — L'HYDROGÈNE

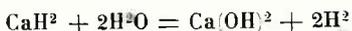
L'hydrogène employé comme combustible dans les chalumeaux oxyhydriques est presque toujours préparé par voie électrolytique ; nous n'étudierons pas ici cette préparation, qui sera traitée à fond dans le volume de cette collection consacré à l'électrochimie.

L'inconvénient de ce mode de production est la nécessité où l'on se trouve, pour transporter le gaz hors de l'usine, de l'emmagasiner sous pression dans des tubes d'acier, d'où un transport très onéreux à cause du poids de ces appareils.

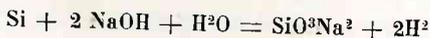
Cet inconvénient est encore bien plus grave quand on emploie l'hydrogène pour le gonflement des aérostats, et c'est en vue de cette dernière application que l'on a été conduit à rechercher des méthodes permettant de le préparer sur place, dans des conditions pas trop onéreuses, et à l'aide d'appareils peu encombrants et facilement transportables. Ces méthodes peuvent devenir à leur tour intéressantes pour la préparation de l'hydrogène destiné à la soudure autogène dans les endroits éloignés des usines électrolytiques. C'est à ce titre que nous en dirons quelques mots ici. La plupart des détails qui suivent sont empruntés à la conférence très documentée de M. G. Jaubert faite à la Société des Ingénieurs Civils de France le 7 juillet 1911 et publiée dans la *Revue Générale de Chimie* du 17 décembre.

Les procédés actuellement employés utilisent l'une des deux réactions suivantes :

1° Décomposition par l'eau de l'hydrure de calcium :



2° Action du silicium (ou d'un alliage métallique fortement silicié) sur la soude :



I. — L'emploi de l'hydrure de calcium a été proposé par M. G. Jaubert (Br. fr. n° 327 878 ; 31 décembre 1902) qui a donné au nouveau produit le nom d'*hydrolithe*. Cet hydrure se prépare en faisant circuler un courant d'hydrogène pur dans des cornues horizontales fortement chauffées et contenant du calcium métallique, préparé lui-même par électrolyse du chlorure de calcium fondu.

L'hydrolithe industrielle est en fragments irréguliers d'un gris d'ardoise, de densité 1,7, titrant environ 95 p. 100 de produit pur, le reste étant formé en majeure partie d'oxyde et d'azote. Elle dégage 1 050 litres d'hydrogène pur par kilogramme, sous la simple action de l'eau. Son seul inconvénient est actuellement son prix élevé, voisin de 4,75 fr. le kilogramme.

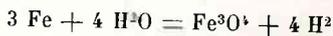
II. — Le procédé au silicium a pris naissance en Allemagne (Brev. fr. n° 406 930 ; 11 septembre 1909) ; il consistait, d'après ce brevet, à faire réagir à chaud, dans un récipient en fer, un mélange de silicium à 95 p. 100 et de chaux éteinte sur une solution de soude.

Le procédé au *silicol* de M. G. Jaubert remplace le silicium par des ferro ou manganosiliciums ou des silicospiegels que l'on attaque simplement par une lessive concentrée de soude (à 35-40 p. 100 NaOH).

Le procédé à l'*hydrogénite*, du même inventeur, emploie encore la réaction de la soude sur les alliages siliciés, mais cette fois en l'absence d'eau : le mélange de soude caustique en poudre et de ferro-silicium pulvérisé entre en effet de lui-même en réaction dès qu'on porte un de ses points à une température suffisante, comme dans l'aluminothermie. L'hydrogénite est livrée en cartouches métalliques que l'on place dans un appareil très simple destiné à réaliser le lavage et le séchage du gaz produit et l'extinction de la matière incandescente. La réaction s'amorce à l'aide d'une allumette-tison. Le prix de revient du mètre cube d'hydrogène ressort actuellement à 1 franc avec le silicol, et à 1,60 fr. avec l'hydrogénite.

Mentionnons d'ailleurs que d'autres procédés que l'électrolyse peuvent permettre la préparation économique de l'hydrogène et sont actuellement employés industriellement ou à l'étude.

Les uns utilisent l'action de la vapeur d'eau sur le fer, c'est-à-dire le procédé primitif de Lavoisier :



DAMOUR, CARNOT et RENGADE. — Les sources de l'énergie calorifique.

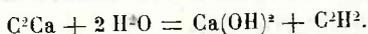


Le fer est régénéré de son oxyde par l'action d'un gaz réducteur, par exemple du gaz à l'eau.

D'autres cherchent à extraire l'hydrogène du gaz d'éclairage ou du gaz à l'eau. Tel est par exemple le procédé Linde-Franck-Caro dans lequel le gaz à l'eau est successivement débarrassé de son acide carbonique par la chaux, puis de l'oxyde de carbone par réfrigération au moyen d'air liquide, enfin purifié des dernières traces d'impuretés par passage sur du carbure de calcium chauffé au rouge, qui absorbe à la fois l'azote sous forme de cyanamide, et l'oxyde de carbone et l'acide carbonique sous forme de carbonate.

§ 2. — L'ACÉTYLÈNE

L'acétylène se prépare exclusivement par l'action de l'eau sur le carbure de calcium :



C'est un gaz dont tout le monde connaît l'odeur désagréable, due d'ailleurs aux impuretés qui l'accompagnent : l'acétylène rigoureusement pur possède une odeur éthérée. Il est légèrement soluble dans l'eau (1 volume), davantage dans la benzine et l'alcool absolu (4 et 6 volumes), mais surtout dans l'acétone qui en dissout 31 fois son volume. Il se liquéfie à 0° sous la pression de 26 atmosphères, ou à 20° sous 42 atmosphères 1/2.

L'intérêt de l'acétylène résulte de la température élevée produite par sa combustion : composé endothermique, dont la formation à partir des éléments correspond à une absorption de chaleur de 55 calories, il fournira de nouveau au moment de sa combustion cette énergie mise en réserve, de sorte que la chaleur dégagée s'élèvera à 318,1 Cal. (Berthelot). Aussi la flamme de l'acétylène est-elle la plus chaude que l'on connaisse, sa température dépasse 3 000°.

C'est par l'emploi du chalumeau oxyacétylénique que l'on réalisera les plus hautes températures que l'on puisse obtenir par voie chimique.

Mais l'usage de l'acétylène exige quelques précautions nécessitées par sa nature endothermique et aussi par la facilité avec laquelle il forme avec l'air des mélanges détonnants.

L'acétylène gazeux, sous la pression atmosphérique, n'est pas explosif, mais il le devient dès que sa pression dépasse 2 atmosphères ; l'acétylène liquéfié est un explosif puissant, comparable au coton-poudre.



Les limites d'explosivité des mélanges d'acétylène et d'air sont très larges : de 2,9 p. 100 à 65 p. 100 d'acétylène (Le Chatelier), et les vitesses initiales de propagation de la flamme sont très grandes :

Proportion d'acétylène p. 100.	2,9	5	7	9	15	22	40	60	64
Vitesse en mètres par seconde.	0,12	2	4	6	3	0,4	0,22	0,07	0,03

Si le mélange est contenu dans un tube étroit, les limites d'explosivité se resserrent :

De 4 à 40 p. 100 d'acétylène dans un tube de 6 millimètres de diamètre.									
De 5 à 15 — — — — —				2					

L'explosion ne se propage plus dans un tube de 1/2 millimètre de diamètre.

Quand on emploie l'oxygène pur, la vitesse initiale de propagation est beaucoup plus grande : elle atteint 200 mètres si les proportions du mélange correspondent à la combustion complète. Aussi doit-on munir l'extrémité des chalumeaux d'orifices très fins et se servir de pressions d'écoulement très fortes, d'environ 1/2 atmosphère.

Générateurs à acétylène. — Les générateurs à acétylène utilisés pour la production de ce gaz peuvent tous se ramener à deux types distincts : les appareils à chute automatique de carbure dans l'eau, et les appareils à chute d'eau sur le carbure.

Le premier mode de fonctionnement, bien que conduisant en général à des appareils plus compliqués que le second, est certainement préférable, car l'emploi d'un grand excès d'eau au moment de la production du gaz évite les échauffements et donne par suite un gaz plus pur, l'acétylène s'altérant assez facilement ou se polymérisant partiellement sous l'action de la chaleur. Le carbure de calcium est généralement contenu dans de petits réservoirs ou boîtes fermées, que l'on a remplis à l'avance, et qui s'ouvrent automatiquement à tour de rôle et projettent le carbure dans l'eau quand le gazomètre où est accumulée la réserve de gaz vient à baisser. Dans le générateur Javal, par exemple, les récipients sont placés sur une couronne mobile entourant le gazomètre et tournant sur des galets. La descente de la cloche du gazomètre a pour effet de faire tourner la couronne sur ses galets de roulements, et finalement d'amener l'ouverture d'un des récipients et la chute du carbure dans un entonnoir incliné conduisant à un réservoir étanche ou générateur contenant de l'eau. En même temps, un mécanisme projette dans l'entonnoir une



certaine quantité d'eau, de manière à entraîner le carbure. Le gaz produit se rend dans le gazomètre.

Acétylène dissous. — On a vu que l'acétylène était très soluble dans l'acétone. Cette propriété a été mise à profit par MM. Claude et Hess pour l'accumuler en grandes quantités dans des récipients, sans offrir les chances d'explosion que comporte l'emploi de l'acétylène liquéfié.

Il résulte en effet des expériences de MM. Berthelot et Vieille que sous une pression inférieure à 10 atmosphères la solution acétonique d'acétylène est inexplorable. Le seul danger que présenterait la manipulation d'un semblable liquide provient de la partie gazeuse existant forcément au-dessus du liquide dans des récipients qu'il est impossible de remplir complètement. Pour éviter cette difficulté, M. H. Le Chatelier a indiqué de faire absorber l'acétone par une matière poreuse remplissant totalement le récipient. Il n'y a plus cette fois d'espace nuisible, et, d'autre part, l'explosion ne se propage pas à travers la matière poreuse, de sorte que l'on pourrait employer une pression bien supérieure à 10 atmosphères.

Pendant celle-ci ne doit pas être dépassée d'après les règlements actuellement en vigueur. De plus, à cause du volume occupé par la matière poreuse elle-même, on ne peut compter dissoudre plus de 10 litres d'acétylène par litre de récipient. Sous la pression de 10 atmosphères, cela représente 100 litres à la pression atmosphérique. Les appareils présentent une sécurité absolue¹.

¹ Si nous ne parlons pas ici de l'oxygène, ce n'est pas qu'on ne puisse le considérer comme un combustible: il n'en est pas un, il est vrai, aux termes de la définition *pratique* que nous avons posée au début de cette seconde partie; c'est ce que l'on appelle au contraire un *gaz comburant*. Mais il est bien évident que ces expressions de combustible et de comburant n'ont qu'une valeur toute relative, que nous avons été amenés à les créer par suite des conditions pratiques dans lesquelles nous vivons au sein d'une atmosphère oxygénée, et que pour un chalumeau oxyhydrique par exemple, qui peut fonctionner dans une atmosphère inerte, l'hydrogène et l'oxygène qui l'alimentent jouent exactement l'un par rapport à l'autre le même rôle.

Cependant les préparations industrielles de l'oxygène seront étudiées naturellement dans d'autres volumes de cette collection: l'une d'elles utilise l'électrolyse des solutions alcalines, elle sera étudiée avec les procédés électrochimiques; l'autre sépare par l'action du froid les constituants de l'air atmosphérique, il en sera parlé en même temps que de la liquéfaction des gaz. Quant au *procédé Brin*, par lequel on extrayait l'oxygène de l'air en s'aidant de la décomposition réversible du bioxyde de baryum



il a perdu aujourd'hui son intérêt industriel devant les deux précédents.

Mentionnons seulement ici la possibilité de préparer très facilement de l'oxygène très



pur, pour une petite installation, au moyen de l'*oxylithe* (G. Jaubert), mélange aggloméré de peroxydes alcalins avec un sel de cuivre comme catalyseur. La décomposition des bioxydes alcalins par l'eau donne de l'eau oxygénée, qui se décompose instantanément sous l'influence du catalyseur en dégageant de l'oxygène. L'action de l'eau sur l'*oxylithe* est immédiate, et cesse également tout d'un coup dès qu'on éloigne le liquide, de sorte qu'un appareil extrêmement simple, dans le genre des appareils Deville à hydrogène ou des générateurs à acétylène les plus rudimentaires, suffit pour obtenir un dégagement automatique et parfaitement régulier.



CHAPITRE IV

LES FOYERS

§ 1. — FOYERS POUR COMBUSTIBLES SOLIDES

Nous étudierons tout d'abord les foyers à houille ou à coke qui sont les plus répandus. Destinés autrefois au chauffage dans toutes les opérations industrielles, ils ont été remplacés presque complètement par les fours à gaz, avec ou sans récupération ; ils ne sont plus guère utilisés actuellement que pour les applications de peu d'importance, ou surtout pour les chaudières à vapeur.

Tout foyer se compose de trois parties : le *foyer proprement dit* ou *chambre de chauffe*, où se produit la combustion ; la *grille*, servant à supporter le combustible en laissant passer l'air nécessaire à la combustion ; et le *cedrier* destiné à recevoir les cendres et les mâchefers.

Foyer ordinaire à grille plane. — Le foyer ordinaire à grille plane réalise le type le plus répandu, destiné à brûler les charbons gros ou moyens, et autant que possible de grosseur uniforme, car les charbons tout venant donnent des rendements bien inférieurs. La grille se compose de barreaux parallèles en fonte ou en fer forgé, dont la forme est calculée de manière à offrir autant que possible une égale résistance en leurs divers points : à cet effet, l'épaisseur croît progressivement des extrémités au centre ; elle est beaucoup plus considérable que la largeur des barreaux, et atteint au milieu de la longueur 10 ou 12 et même dans certains cas 20 centimètres. La section transversale a la forme d'un trapèze isocèle dont la grande base est tournée vers le haut, de manière à éviter autant que possible l'encrassement par les cendres ou les escarbilles des espaces vides entre les barreaux consécutifs. L'écartement entre les barreaux est assuré par des talons aux deux extrémités ; quand leur longueur devient assez grande, on place également un talon au milieu de manière à éviter les déformations. Les barreaux reposent librement à leurs deux extrémités sur des sommiers en fer, encastrés dans la maçonnerie,



et disposés de manière à laisser un jeu de 3 à 5 millimètres à l'avant pour permettre la dilatation ; l'arrière du barreau est accroché au sommier par un talon recourbé. La grille est en général horizontale, ou légèrement inclinée de 1/10 par exemple vers l'arrière, de manière à agrandir la chambre de chauffe sans diminuer l'ouverture du cendrier en avant. La distance entre deux barreaux et la largeur de ces barreaux varient avec la grosseur de la houille : pour les charbons en gros fragments on prend des barreaux de 25 à 30 millimètres, espacés entre eux de 10 à 12 millimètres ; avec les charbons plus fins, il faut réduire les intervalles, et par suite aussi la largeur des barreaux de manière à conserver le même rapport entre la surface de la grille et la surface libre par où l'air pénètre dans le foyer. Ce rapport dépend de la nature des houilles traitées ; pour les charbons moyens, il est de 3 environ ; il sera réduit pour les houilles sèches et augmenté pour les charbons anthraciteux contenant peu de substances volatiles. La largeur d'une grille ne peut guère dépasser 1 mètre, ou 1,50 m. si l'on met deux portes de chargement ; la surface totale sera en général inférieure à 2 mètres carrés ; pour l'augmenter, il vaudra mieux construire plusieurs foyers séparés.

Le poids de charbon brûlé par heure et par mètre carré de grille varie suivant le combustible employé, suivant la surface libre et suivant la vitesse d'introduction de l'air, ou tirage. Les foyers ordinaires de chaudières à bouilleurs brûlent de 50 à 100 kilogs ; les foyers de fours à puddler ou à souder le fer consomment jusqu'à 150 ou 200 kilogs, et les foyers de locomotives arrivent à brûler 400 à 500 kilogs. Il faut pour obtenir ces combustions rapides un tirage très énergique correspondant à une différence de pression qui peut atteindre 10 centimètres d'eau, et s'élever même à 20 ou à 30 dans les chaudières marines.

Le rendement des foyers ordinaires, c'est-à-dire le rapport entre la quantité de chaleur utilisée et la quantité totale de chaleur produite, varie pour les chaudières de 0,40 à 0,80. Si l'on connaît à l'avance ce rendement r d'après des expériences comparatives effectuées dans des conditions analogues, si l'on se donne le poids P de houille à brûler par heure et par mètre carré de grille, enfin si l'on connaît la quantité de chaleur Q exigée par heure pour l'opération que l'on veut entreprendre et la chaleur de combustion du charbon C , on calculera immédiatement la surface S à donner à la grille d'après l'équation :

$$P \cdot C \cdot S \cdot r = Q.$$



Chargement et fonctionnement du foyer. — Le chargement s'effectue en projetant le charbon sur la grille, à la pelle, rapidement pour ne pas trop refroidir le foyer par l'introduction d'air froid, et le plus régulièrement possible de manière à obtenir une couche de combustible d'épaisseur uniforme, ne contenant surtout pas de trous par où passerait un excès d'air. L'introduction du combustible froid sur le lit incandescent a pour effet d'amener la distillation des éléments volatils en même temps que se produit une baisse brusque de température ; celle-ci peut être suffisante pour que

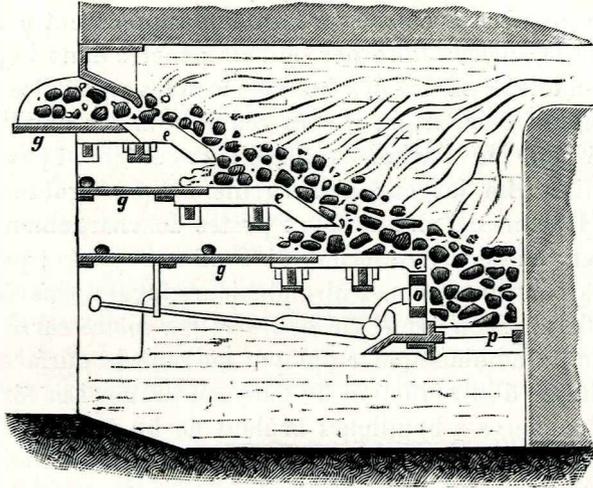


Fig. 113. — Grille à étages.

les vapeurs dégagées ne s'enflamment pas, ou qu'elles ne brûlent qu'incomplètement avec mise en liberté du charbon divisé : il se produit donc des *fumées* d'autant plus abondantes que le charbon traité est plus riche en matières volatiles. Puis, la température remontant peu à peu, les gaz s'enflamment et le charbon brûle régulièrement, jusqu'au moment où par suite de l'usure du combustible, l'air aspiré se trouve en excès par rapport au charbon incandescent, et le foyer tend à se refroidir de nouveau ; on fera alors un nouveau chargement, et ainsi de suite, de sorte que l'on ne réalise que pendant un temps limité et assez court les meilleures conditions de marche. On sera donc amené à charger le plus souvent possible pour éviter de trop grands changements dans l'allure du foyer, et à maintenir le combustible en couche assez mince sur la grille, une couche trop

épaisse amenant la production d'oxyde de carbone, c'est-à-dire produisant beaucoup moins de chaleur.

On voit que le principal inconvénient des foyers à grille ordinaire réside dans leur mode de chargement. On a imaginé différents dispositifs permettant un chargement plus rationnel :

La *grille à étages* imaginée par Langen se compose (fig. 113) d'une série de plateaux *g* superposés terminés vers le foyer par des grilles *e* à barreaux recourbés, de manière à réaliser une surface inclinée à 28° . Le charbon est chargé à l'avance sur les plaques *g* où il s'échauffe

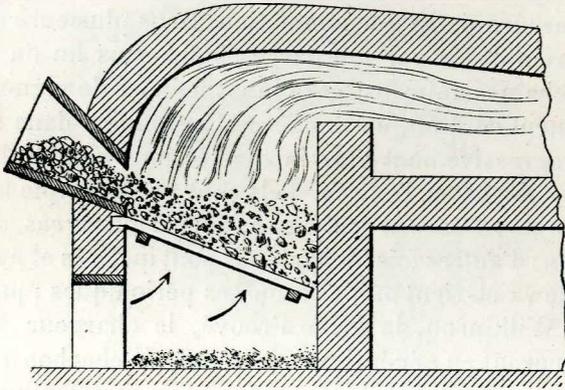


Fig. 114. — Foyer à grille inclinée.

peu à peu, puis il est poussé sous le charbon allumé, qui le carbonise. Les gaz dégagés, aspirés avec l'air, traversent la couche incandescente et brûlent complètement sans produire de fumées, tandis que le charbon poussé par les portions nouvellement introduites descend peu à peu jusque sur une grille horizontale *p* où il finit de se consumer.

La *grille inclinée* (fig. 114) conduit par un dispositif différent à un résultat à peu près identique : la grille est à barreaux droits ordinaires, mais elle présente une inclinaison assez prononcée, allant de 20 à 35 et même à 50 p. 100. La porte du foyer est remplacée par une ouverture munie d'une trémie également inclinée que l'on remplit de charbon. Celui-ci s'échauffe progressivement en avançant vers la grille; il distille bientôt, et les gaz de la distillation, mélangés à l'air aspiré en même temps par la trémie, viennent brûler au contact du combustible incandescent. L'air introduit par la trémie joue en même temps le rôle d'air secondaire pour brûler l'oxyde de carbone qui



pourrait se former sur la grille quand l'épaisseur du combustible est trop forte.

On peut même supprimer complètement l'accès de l'air sous la grille et entretenir la combustion uniquement avec l'air pénétrant à travers le charbon par l'ouverture de chargement. On obtient alors le *foyer à flamme renversée*. Le cendrier dans ce cas doit être hermétiquement clos.

On a également imaginé, pour éviter les irrégularités du chargement intermittent à la pelle, des foyers à *alimentation continue* dans lesquels un dispositif mécanique introduit progressivement la houille au fur et à mesure de sa consommation. Dans plusieurs dispositifs, la grille est remplacée par une large chaîne sans fin ou plutôt par une série de chaînes animées, par l'intermédiaire de pignons dentés, d'un mouvement continu, de manière à introduire dans le foyer et à pousser progressivement vers la zone la plus chaude le charbon qu'une trémie dépose à l'entrée. Tels sont par exemple le *chargeur Coxe* et le *chargeur Babcock et Wilcox*; dans d'autres cas, on emploie une vis sans fin; d'autres fois les barreaux sont inclinés et animés d'un mouvement de va-et-vient ou de secousses périodiques: par exemple le chargeur Wilkinson, la grille Frouvé, le chargeur Vicar. Ces appareils procurent en général une économie de charbon et de main-d'œuvre assez considérable, bien qu'étant d'un établissement et d'un entretien assez coûteux.

Foyer Fulton. — Ce foyer ou économiseur de combustible, destiné à en permettre la distillation progressive et la combustion complète, comprend un chargeur et une grille spéciale.

La grille rappelle tout à fait comme forme la grille à gradins, employée pour les charbons menus (voir plus bas), mais les barreaux en sont alternativement fixes et mobiles: les barreaux mobiles sont portés par des pièces en forme de montants d'escaliers, pivotant à leur extrémité inférieure autour d'un axe et mues par un excentrique à leur partie supérieure. Le mouvement qui en résulte fait avancer progressivement sur la grille le combustible, qui distille d'abord, puis brûle et vient tomber à l'état de cendre au bas de la grille.

Le chargeur, placé à la partie supérieure, se compose d'une trémie au fond de laquelle se trouve un rouleau portant des doigts en saillie et tournant en face d'une surface cannelée, de manière à écraser au fur et à mesure le charbon.

Enfin la combustion complète des fumées est assurée par une



introduction, au fond du foyer, d'air secondaire préalablement chauffé par sa circulation au travers de tuyaux placés dans la maçonnerie.

FOYERS POUR COMBUSTIBLES MENUS

Les grilles ordinaires se prêtent mal à la combustion des combustibles menus, qui passent à travers les interstices des barreaux et les bouchent. On peut employer avec avantage, pour les menus de houilles non collants, un foyer avec grille à gradins.

Grille à gradins. — Cette grille se compose d'une série de plate-

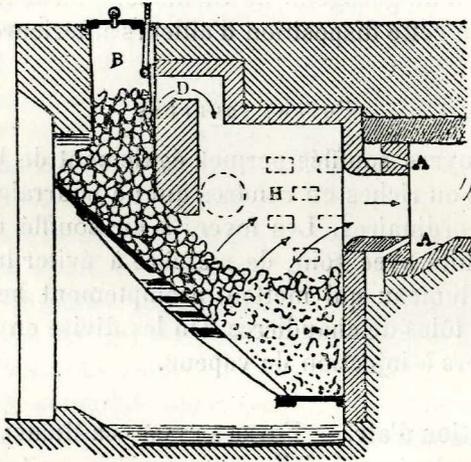


Fig. 115. — Foyer à demi-gaz.

formes horizontales, régulièrement espacées en escalier, avec une pente d'environ 40 à 50 p. 100. Au bas du foyer se trouve une grille ordinaire de petite dimension. Le charbon est chargé à la partie supérieure par une trémie, d'où il descend de gradins en gradins, poussé par le chauffeur, en se cokéfiant d'abord peu à peu, puis en brûlant sur la grille inférieure; celle-ci est maintenue normalement recouverte d'une couche d'escarbilles qui l'empêchent de se boucher et que l'on fait tomber de temps à autre en enlevant un ou deux barreaux. Cette grille réalise une combustion très régulière, sans à-coups et sans rentrée d'air; elle convient très bien pour les menus d'antracite et de charbons maigres.

Cependant l'emploi des menus présente l'inconvénient de ne laisser à l'air qu'un passage insuffisant, de sorte que la combustion est

¹ *Iron Age*, 76, 1290; 1905; *Rev. Métal.*, 3 bis, 108; 1906.



souvent incomplète et se fait en partie avec production d'oxyde de carbone. Pour tourner la difficulté, on a imaginé (fig. 415) d'introduire de l'air secondaire dans le foyer, au-devant de la grille, de manière à brûler l'oxyde de carbone produit. L'air pénètre dans des carneaux H ménagés dans la maçonnerie, où il s'échauffe, et il entre dans le foyer par les ouvertures A où il rencontre les fumées à oxyde de carbone et aussi les gaz combustibles produits par la distillation de la houille dans la trémie de chargement B, et qui arrivent dans le foyer par le conduit D. L'ensemble fonctionne donc à la façon d'un gazogène de Siemens, d'où le nom de *foyer à demi-gaz* donné à cette disposition d'ailleurs antérieure au gazogène.

FOYERS SOUFLÉS

L'emploi de foyers soufflés permet également de brûler les combustibles menus ou riches en cendres qui ne pourraient être utilisés dans les foyers ordinaires. Les foyers à air soufflé doivent cependant être construits avec soin, de manière à éviter la formation de flammes de chalumeau qui mettent promptement hors d'usage les garnitures et les tôles de chaudières. On les divise en foyers à injection d'air et foyers à injection de vapeur.

Foyers à injection d'air. — **FOYER A ÉTAGES DE MICHEL PERRET.** — Ce foyer se compose de 4 ou 5 dalles superposées, en terre réfractaire, sur lesquelles on peut étaler le combustible et le faire tomber d'une dalle sur la dalle inférieure au moyen d'ouvertures percées alternativement en avant ou en arrière. L'air pénètre à l'étage inférieur et lèche successivement, aux différents étages, le charbon qui est introduit sur la dalle supérieure et poussé d'étage en étage au moyen d'un ringard.

GRILLE IMMERGÉE MICHEL PERRET. — C'est une grille dont les barreaux étroits et très rapprochés ont une très grande hauteur et plongent à leur partie inférieure dans une bêche remplie d'eau. On évite ainsi de les brûler. L'air est injecté latéralement au moyen d'un ventilateur puissant. On obtient de la sorte une température très élevée.

Foyers à injection de vapeur. — On a vu dans la première partie de cet ouvrage que l'injection de vapeur d'eau dans un foyer ne peut pas augmenter la quantité de chaleur produite. Tout au plus peut-



elle refroidir les grilles en déplaçant la zone de chaleur maxima. Dans les foyers où l'on utilise l'injection de vapeur, celle-ci n'a pour but que d'entraîner un courant d'air, en sorte que l'on retombe au fond sur les foyers à air soufflé. La vapeur s'échappant par un orifice central entraîne l'air par un orifice annulaire.

GRILLE POILLON. — Dans cette grille, les barreaux, au lieu d'être disposés longitudinalement comme d'habitude, sont placés transversalement. De plus, leur section est calculée de façon que les jours qu'ils laissent entre eux soient inclinés environ à 45° , de manière à étaler les flammes suivant des directions inclinées et qui se croisent comme l'indique la figure (fig. 116). Cette disposition évite de brûler les tôles des chaudières comme auraient pu le faire les flammes verticales produites par les grilles ordinaires ; en même temps, les gaz du foyer sont brassés énergiquement et la combustion est complète, sans fumée, et sans usure de la grille qui se trouve refroidie par la vapeur d'eau injectée.

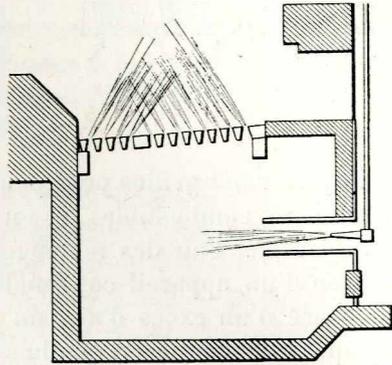


Fig. 116. — Grille Poillon.

FOYER MELDRUM. — Ce foyer emploie une grille de forme ordinaire, dont les barreaux ne sont écartés que de 3 millimètres. La forme et l'emplacement des tuyères sont minutieusement étudiés de manière à produire le meilleur effet utile. Le cendrier doit être tenu normalement fermé.

On peut brûler dans ces foyers des poussières de coke ou des schistes contenant jusqu'à 60 p. 100 de cendres ; il n'y a pas de fumée sensible.

FOYER KUDLICZ. — Ce foyer est également établi pour brûler les menus de houille, ou même les déchets, escarbilles, sciure de bois, tannée, jusqu'aux résidus de boîtes à fumée de locomotives.

La grille Kudlicz est formée d'une plaque de tôle épaisse percée de trous coniques dont la petite ouverture est tournée vers le haut et qui sont disposés régulièrement en quinconce au nombre de 1 200



par mètre carré (fig. 117). Cette grille forme le dessus d'un caisson en tôle dans lequel on envoie, par l'intermédiaire d'une tuyère à vapeur, de

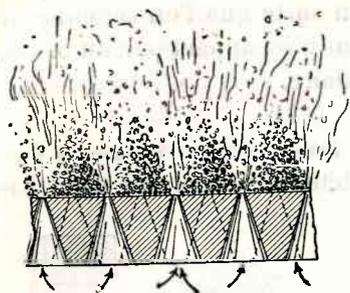


Fig. 117. — Grille Kudlicz.

l'air qui passe à travers les trous coniques et soulève la poussière de charbon en produisant des gerbes de flammes, mais pas de jets de chalumeau. Quant aux cendres, qui ne peuvent traverser la grille d'après sa disposition même, elles sont entraînées par le courant d'air et vont se déposer dans une fosse derrière l'autel. Il faut nettoyer fréquemment les carneaux, qui devront être assez larges.

Foyers sans grilles pour poussier de charbon. — On sait que les poussières combustibles, et en particulier les poussières de houille, forment avec l'air des mélanges détonnants. Si donc on produit, au moyen d'un appareil convenable, un jet de poussier de charbon en présence d'un excès d'air, on pourra enflammer ce poussier qui se comportera comme un combustible gazeux. En projetant le jet dans

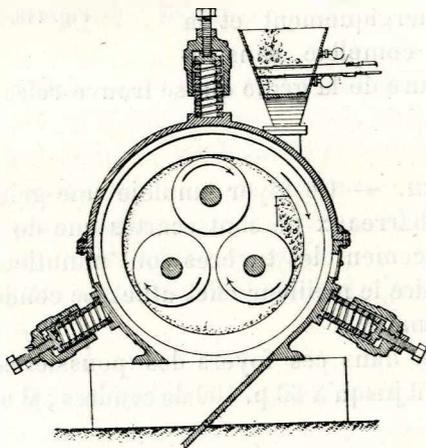


Fig. 118. — Moulin Kent.

une chambre chauffée à température suffisante, il s'enflammera de lui-même, et se maintiendra indéfiniment en combustion. Il ne sera donc plus besoin de grille, et si les proportions d'air et de combustible sont exactement calculées, la combustion sera parfaite et se produira sans fumées.



Les poussières de houilles destinées à être brûlées doivent être finement pulvérisées après une dessiccation préalable dont nous avons déjà parlé page 315. La pulvérisation définitive s'effectue dans des moulins à boulets ou des moulins centrifuges à meules tels que le moulin Kent (fig. 118) dans lequel trois meules sont maintenues énergiquement par trois ressorts contre un anneau mobile enveloppant ¹. Plus la poussière sera fine, plus la combustion sera facile et complète. On devra prendre le degré de finesse qui correspond à un tamis de 7 mailles par millimètre carré.

Le charbon en poudre fine s'altère rapidement à l'air ; aussi ne devra-t-on pas en préparer de trop grandes provisions à l'avance. On a également proposé de le conserver sous l'eau et même de le transporter à de grandes distances, au moyen de tuyaux, en suspension dans ce liquide ¹.

La nécessité d'opérer la combustion dans un foyer à température élevée oblige, si l'on emploie des chaudières à foyer intérieur, à revêtir ce foyer de briques réfractaires afin de s'opposer à un trop grand refroidissement par les parois de la chaudière, pouvant amener l'extinction de la flamme. On évite en même temps la destruction de la paroi métallique par la flamme directe.

L'appareil le plus connu pour réaliser la combustion du poussier de charbon, et celui qui a donné les premiers résultats vraiment pratiques, est l'*appareil Schwarzkopf*. Il se compose essentiellement (fig. 119) d'une trémie *a* et d'une roue distributrice *f* munie de brosses en fil d'acier, tournant à raison de 250 tours par minute. La trémie est fermée à sa partie inférieure par deux plaques d'acier *c* et *d*, la première pouvant être plus ou moins tendue par la vis *b*, la seconde munie à son extrémité d'un cran *h* que vient soulever à chaque distribution un marteau *g* porté par la roue *f*. La plaque *e* supporte le poids du charbon dans la trémie et allège d'autant la plaque *c*.

On voit qu'à chaque révolution de la roue *f*, une quantité déterminée du charbon sort de la trémie et est entraînée dans la chaudière à la fois par la vitesse de rotation et par l'air aspiré par la cheminée et qui pénètre par les chemins *l*, *m* et *n*. Un registre *o* sert à régler l'admission de cet air.

Pour la mise en marche, il faut chauffer préalablement la chambre de chauffe à une température suffisante, au moyen d'un feu de bois par exemple. Au bout de cinq minutes, on peut faire marcher l'ap-

¹ Rev. Métal., 5 bis, 752 ; 1908.



pareil. On peut arrêter son fonctionnement pendant quelques heures et le reprendre ensuite, les parois de la chambre étant encore suffisamment chaudes pour assurer l'inflammation.

Dans une autre disposition du chargeur Schwarzkopf, le marteau *g*

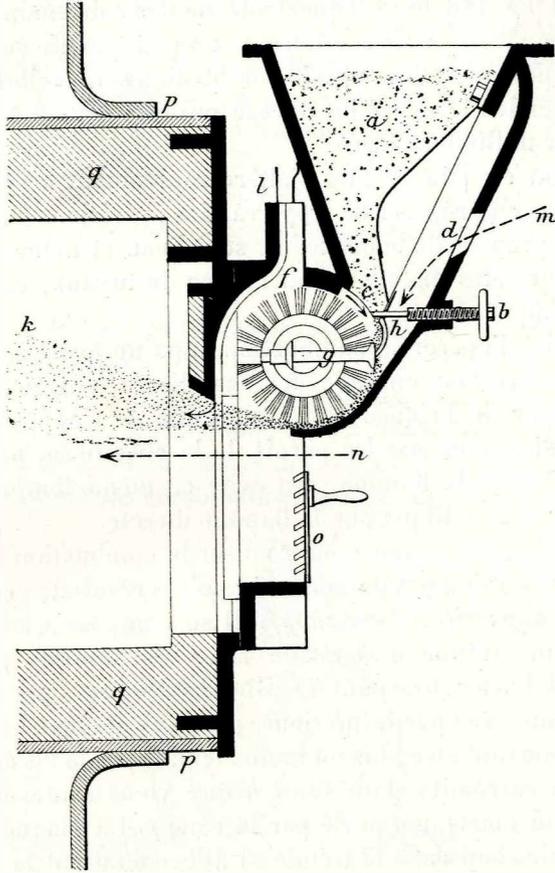


Fig. 119. — Appareil Schwarzkopf.

n'est pas solidaire de la roue *f*, mais commandé par un engrenage.

Il existe un grand nombre d'appareils analogues, différant entre eux principalement par la manière dont se trouve réglé l'écoulement du charbon tombant de la trémie. Au lieu d'une brosse circulaire, on peut employer un transporteur à vis (*appareil Rühl*, appareil de l'*American Iron and Steel Manufacturing Co*) ou un ou plusieurs tambours à dents (*appareil Westlake*, chargeur *Welles*) ou un broyeur (*appareil de l'Ideal Fuel Feeder Co*) ou un système de rouleaux



(*foyer Pinther*). Dans plusieurs de ces appareils, la distribution du charbon et de l'air est commandée par les variations de pression de la chaudière, de sorte que le foyer ne fonctionne que quand la pression tombe au-dessous d'une certaine limite, et s'arrête automatiquement dès que la pression est remontée¹. Le vent est soufflé par des

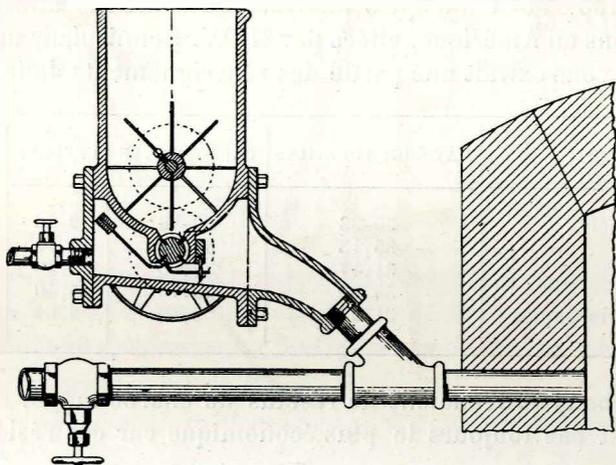


Fig. 120. — Chargeur Welles.

ventilateurs annexés à chaque appareil, ou provient d'une canalisation d'air comprimé. Dans le *chargeur Welles* que nous figurons ci-contre (fig. 120), il y a une double canalisation d'air : l'une à haute pression pénètre directement dans la chambre d'alimentation, l'autre à basse pression entre par la branche en Y du tuyau de décharge.

La combustion du charbon pulvérisé produit des températures très élevées qui ne doivent pas être mises au contact direct des parois de chaudières. On peut éviter en grande partie l'action pernicieuse de ces flammes en en produisant deux dans deux directions différentes de manière à les écraser l'une contre l'autre.

Il ne se produit aucune fumée dès que les briques du foyer sont chaudes, et il n'y a sensiblement pas de combustible perdu dans les cendres, 1 p. 100 tout au plus ; ces cendres peuvent causer des désagréments quand elles sont très fusibles, car elles se collent aux parois en formant une croûte extrêmement dure, difficile à détacher. Au contraire, les cendres peu fusibles donnent un dépôt gris pulvé-

¹ Dans l'appareil Friedeberg, qui a donné lieu à quelques applications en Allemagne, le charbon s'écoule de la trémie sous la seule action de l'air arrivant par des tuyères spéciales.



ruent très facile à enlever et que l'on a même essayé d'employer comme sable de fonderie.

Tous les charbons ne conviennent pas pour être brûlés sous forme de poussières : ceux qui contiennent moins de 20 p. 100 de matières volatiles s'enflamment difficilement ; les meilleurs sont ceux à 30-35 p. 100. Voici quelques analyses de charbons utilisés dans ces conditions en Amérique, citées par M. W. Dennis dans une étude dont nous avons extrait une partie des renseignements donnés ici¹ :

EMPLOIS	MATIÈRES VOLATILES	CARBONE FIXE	CENDRES	SOUFRE
Fours à ciments . . .	30-33	50-58	9-13	6
Chaudières.	35,13	54,70	9,35	0,99
—	34,47	57,40	7,50	1,74
—	35,50	53,70 </td <td>8,40</td> <td>»</td>	8,40	»
Fours métallurgiques .	31,97	58,49	9,02	1,34

Ces charbons provenaient de résidus de charbonnage, mais cet emploi n'est pas toujours le plus économique car ces résidus sont

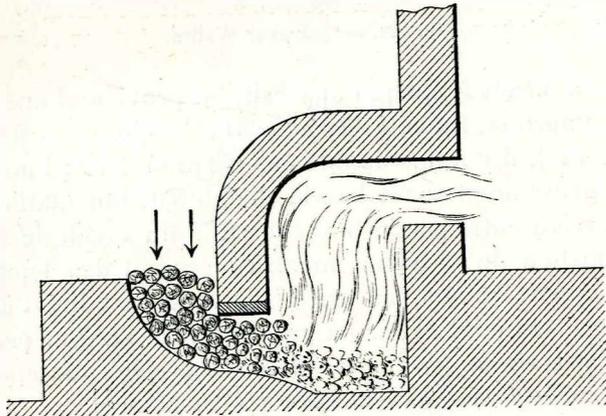


Fig. 121. — Foyer à alandiers.

généralement très humides, surtout en hiver, et leur broyage ultérieur est dans ce cas plus onéreux.

Au point de vue de l'économie procurée par l'emploi du charbon pulvérisé, M. Dennis cite le cas d'un four à profilés où 425 barres pesant 6 tonnes étaient chauffées en dix heures à l'aide de 450 kilogs

¹ *Rev. Métal.*, 5 bis, 745 et 749; 1908; *Eng. Mag.*, 33, 577; 1907, et 34. 463; 1908.



de charbon revenant à 9 francs la tonne après pulvérisation, tandis que le même four marchant au coke mettait vingt heures pour chauffer 350 barres avec une dépense de 680 kilogs de charbon à 15,50 fr. la tonne.

L'usage du charbon pulvérisé dans les chaudières n'est pas à beaucoup près aussi économique ; mais il procure une meilleure utilisation du combustible, et est d'un maniement beaucoup plus commode, lui permettant de lutter avec le gaz et le pétrole, qui sont plus coûteux.

FOYERS POUR COMBUSTIBLES SOLIDES AUTRES QUE LA HOUILLE

Foyers à bois. — Le bois peut s'employer dans les foyers ordinaires à houille sans modification, on pourra seulement diminuer l'écartement des barreaux, le rapport de la surface libre à la surface totale de grille pouvant être de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{7}$.

On employait dans les anciens fours à porcelaine marchant au bois le système du *foyer à alandiers* réalisant la combustion renversée du bois, et fonctionnant d'une manière analogue aux foyers à houille à combustion renversée. La figure ci-contre (fig. 121), extraite du traité de métallurgie de Babu, en fait comprendre la disposition.

Foyers à tourbe. — La tourbe en briquettes se brûle dans les foyers ordinaires à houille. La tourbe naturelle se brûle avantageusement sur les grilles à étages, en employant un tirage très énergique ; on peut aussi employer les foyers spéciaux à sciure de bois que nous décrirons tout à l'heure. Enfin on a construit pour le chauffage des chaudières au moyen de ce combustible un four spécial, le foyer Hoyt. Ce foyer comprend une grille ordinaire à barreaux rapprochés (surface libre = $\frac{1}{3}$ surface totale). Le chargement s'effectue par des trous percés dans la voûte du foyer au-dessus de la grille et que l'on tient fermés en temps ordinaire au moyen de briques. Avec de la tourbe séchée à l'air, contenant 25 p. 100 d'eau et 45 p. 100 de carbone, on a ainsi obtenu une vaporisation de 3,36 kg. d'eau par kilogramme de tourbe.

Foyers pour sciure de bois et déchets de scieries. — La sciure de bois se brûle bien dans un foyer en maçonnerie que l'on charge au



moyen d'une trémie placée au-dessus de la voûte et communiquant avec un certain nombre de trous percés dans cette voûte. La grille placée au-dessous comporte des barreaux de 24 millimètres d'épaisseur séparés de 14 millimètres. Le chauffeur se borne à égaliser la sciure sur la grille au fur et à mesure de sa chute, et à veiller qu'elle n'arrive pas à toucher la voûte. On peut aussi employer avec avantage une grille à gradins.

Foyers pour bagasse. — La bagasse, ou résidu de canne à sucre, est un combustible intéressant dans les colonies. On le brûle de préférence sur une grille à étages, en employant un foyer très spacieux en briques réfractaires. L'introduction se fait en général par une trémie. On obtient avec un bon foyer une vaporisation de 3 litres et demi d'eau par kilogramme de bagasse.

Foyers à paille. — Les foyers destinés à brûler de la paille ou des tiges de plantes sont ordinairement munis d'une large trémie pour le chargement et de tôles rabattant les flammes vers le bas et empêchant les tiges non brûlées d'être entraînées par le tirage. Avec les chaudières à tubes d'eau, il est nécessaire d'augmenter la distance entre la grille et les tubes et de mettre des arrivées d'air complémentaires pour obtenir une combustion complète.

Foyers à tannée. — La tannée, ou tan épuisé sortant des fosses à jus, contient encore la plus grande partie de ses fibres ligneuses et peut servir de combustible, bien qu'elle retienne une énorme quantité d'eau (60-70 p. 100 environ). En général, on la comprime dans des moules pour en faire des mottes que l'on sèche à l'air. Ces mottes brûlent presque sans flamme et produisent beaucoup de cendres. Leur pouvoir calorifique à l'état sec serait de 4 000 calories ; mais on ne peut guère compter sur beaucoup plus de la moitié à cause de l'humidité qu'elles contiennent encore, soit une vaporisation de 2 kilogrammes d'eau par kilogramme.

Le foyer **Godillot** a été construit pour brûler la tannée telle qu'elle sort des fosses, sans compression préalable : il comprend un distributeur à hélice, prenant la tannée dans une trémie et la poussant sur une grille spéciale (grille pavillon) en forme de demi-cône reposant sur une grille horizontale en fer à cheval. La tannée descend peu à peu en se desséchant sur la partie inclinée, et vient brûler à la partie inférieure. L'air nécessaire à la combustion est chauffé



préalablement par son passage dans des carneaux circulant autour du foyer. Ce dispositif permet de brûler également la sciure de bois, les copeaux, etc. Quand on emploie la tannée, on lui mélange en général 10 p. 100 de charbon de manière à relever un peu son pouvoir évaporatoire.

Mentionnons d'ailleurs que la tannée, la bagasse et tous les combustibles humides se brûlent dans d'excellentes conditions à l'aide du gazogène autoréducteur de Riché (voir p. 406).

§ 2. — FOYERS POUR COMBUSTIBLES LIQUIDES

L'idée de se servir des combustibles liquides pour le chauffage des foyers industriels est naturellement fort ancienne et s'est présentée dans tous les pays producteurs de pétrole : mais la solution vraiment pratique et économique du problème exige des appareils spéciaux et n'a pu être réalisée pleinement qu'après de multiples tâtonnements.

Les premiers dispositifs essayés revenaient à brûler le combustible répandu sur une grille de forme spéciale. Dans le *foyer Nobel* par exemple, le pétrole s'écoulait d'une manière continue à travers une série de cuvettes plates en fonte placées les unes au-dessus des autres à l'entrée du foyer. Le pétrole était enflammé directement et l'air qui passait entre chaque cuvette poussait les flammes dans une chambre à maçonnerie où la combustion s'achevait sous l'influence d'une nouvelle arrivée d'air chauffé. Ce foyer était principalement employé à la fusion de l'acier.

Dans le *four Kroupski* le pétrole est gazéifié en le faisant tomber sur les briques chauffées d'un régénérateur de chaleur du genre Siemens, et s'enflamme au contact de l'air chaud qui remonte à travers ces briques. La combustion se poursuit dans le four proprement dit, et les gaz vont ensuite réchauffer un second système de régénérateur, que l'on permutera tout à l'heure avec le premier et qui servira alors de gazificateur pour le pétrole. L'inconvénient de ce procédé consiste dans la formation d'un coke très dur et peu combustible aux dépens d'une partie du pétrole tombant sur les briques incandescentes.

Nous devons rappeler que dès 1868 Henri Sainte-Claire Deville avait préconisé l'emploi des huiles lourdes de pétrole pour le chauffage, et imaginé une grille spéciale, à barreaux plats en fonte placés verticalement, et creusés dans leur épaisseur d'une rainure où l'on



faisait s'écouler le pétrole qui s'y trouvait immédiatement volatilisé et brûlait comme sur une mèche de lampe ; l'air pénétrait dans le foyer par les intervalles entre les barreaux, déterminant la formation d'une flamme très vive et très courte de 25 centimètres de longueur. On pouvait augmenter la surface d'évaporation de l'huile en inclinant plus ou moins la paroi postérieure de la grille.

Cet appareil non seulement fut employé pour le chauffage de fours de laboratoire, mais fut expérimenté avec succès sur deux locomotives du chemin de fer de l'Est, ainsi que sur le yacht « La Puebla » muni d'une chaudière de 60 chevaux¹. Ces essais montrèrent dès cette époque tout l'intérêt que présentait le chauffage au pétrole. La Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée a construit il y a quelques années un appareil qui n'est qu'un perfectionnement de celui de Deville, caractérisé par l'emploi de l'air soufflé et de déflecteurs creux, pénétrant entre les barreaux de la grille, et servant à échauffer et à mieux diriger l'air qui circule en partie entre eux et les barreaux de la grille, en partie à leur intérieur pour ressortir dans le foyer par de petits trous percés à leurs extrémités.

Le foyer dit à *glissières* de M. Bachy fonctionne d'une manière un peu analogue, il comporte une plaque horizontale munie de rainures, sur laquelle s'écoule le pétrole, et qui est recouverte d'une bande d'un tissu feutré qui s'imbibe de l'huile combustible et joue le rôle de mèche ; on règle la flamme en recouvrant plus ou moins la surface du feutre au moyen d'une glissière à rouleaux.

On a renoncé à peu près complètement aujourd'hui, même pour les fours métallurgiques, à ces types d'appareils ; on les a remplacés par des brûleurs pulvérisateurs transformant le combustible liquide en un brouillard très fin que l'on enflamme et permettant une combustion parfaite et facile à régler, rappelant le mode d'utilisation des poussières de houille que nous venons d'étudier plus haut.

Ces brûleurs peuvent se diviser en trois catégories suivant la manière dont on produit la pulvérisation : les brûleurs à vapeur, les brûleurs à air soufflé et les brûleurs à pression.

I. Dans les appareils de la première classe, un jet de vapeur sortant d'une tuyère de forme convenable rencontre le jet de liquide et le réduit en poussière. Le plus souvent, les tuyères sont disposées de manière à obtenir deux jets annulaires concentriques.

¹ Voyez C. R., 68. 349, 485 et 686 et 69, 933.



Appareil Vétillard-Scherding. — Cet appareil, installé sur les locomotives express Compound de la compagnie de l'Est en vue de venir en aide au chauffage au charbon dans les cas où l'on a besoin d'une surproduction de vapeur (fig. 122), comprend deux éjecteurs superposés : le premier fonctionne au moyen de la vapeur qui arrive par le conduit A et, s'échappant par l'orifice annulaire entourant la tuyère B, aspire le pétrole qui pénètre par celle-ci. Le mélange de

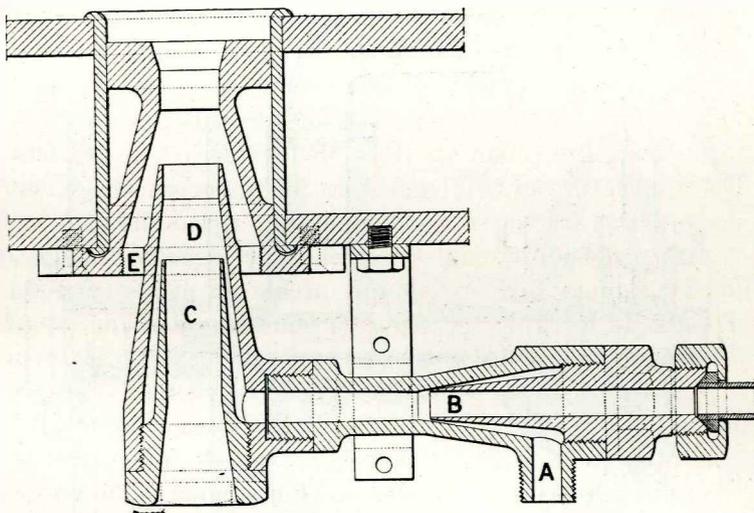


Fig. 122. — Appareil Vétillard-Scherding.

vapeur et de pétrole pulvérisé pénètre alors dans le second éjecteur D, aspirant par la tuyère C l'air qui servira à la combustion. Enfin une dernière pièce E entoure encore l'orifice D, de manière à aspirer une nouvelle quantité d'air par l'espace annulaire, de telle sorte que le pétrole pulvérisé pénètre dans le foyer complètement mélangé avec l'air nécessaire à sa combustion.

Appareil Urqhardt. — Cet appareil est employé sur les locomotives des chemins de fer Russes. Il fonctionne d'une manière très analogue au précédent, mais le pétrole pénètre par l'orifice annulaire du premier éjecteur (fig. 123), tandis que la vapeur arrive au centre par la tuyère à aiguille B. Celle-ci est d'ailleurs mobile dans le sens de son axe, de manière à régler le débit du jet. Le mélange pénètre dans le manchon L, aspirant latéralement l'air nécessaire à la combustion, et sort en passant sur une plaque M qui donne au jet la forme d'une nappe horizontale.



Les locomotives alimentées par ce brûleur étant chauffées exclusivement au pétrole, on a dû modifier la forme du foyer ; le jet de flamme ne touche pas directement les parois de la chaudière ; il pénètre au-dessous d'une voûte en briques réfractaires qu'il échauffe au rouge et qui sert de régulateur de chaleur, et son extrémité vient lécher la base d'un carneau réfractaire, par lequel l'air pénètre dans le foyer et se mélange aux gaz de la combustion ; c'est ce

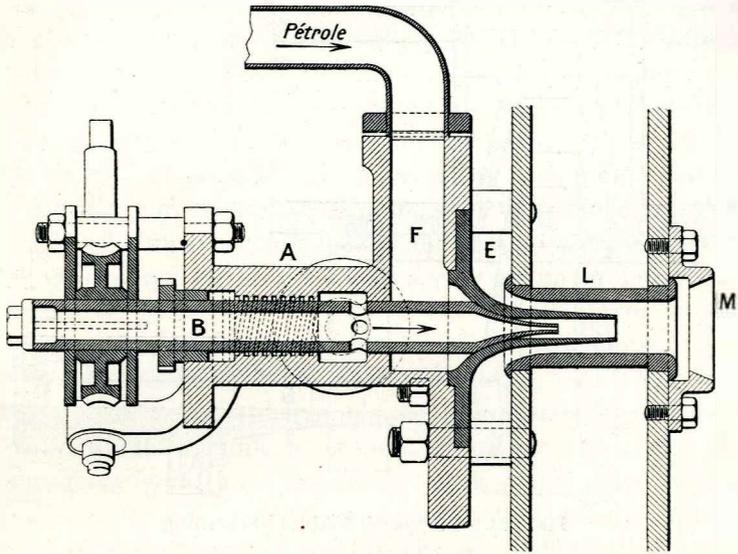


Fig. 123. — Brûleur Urquardt.

mélange chaud qui circule à travers les tubes de fumée ; des manchons en fonte traversant le carneau permettent à une partie des flammes de venir frapper directement le bas de la plaque tubulaire.

Le brûleur *Holden* se rapproche beaucoup du modèle précédent, sauf que la disposition en est renversée ; c'est-à-dire que le jet de vapeur est extérieur et aspire un jet d'air intérieur à travers un jet intermédiaire d'huile pulvérisée. Ce brûleur est très employé pour le chauffage mixte des locomotives sur les compagnies anglaises, ainsi que sur les locomotives américaines du Great Eastern Railway, qui brûlent du goudron de bois avec un plein succès.

Brûleur d'Allest. — Ce brûleur (fig. 124) se compose d'une buse conique A dans laquelle le pétrole arrive par une tubulure inférieure B ; cette buse est entourée d'une boîte M, venue de fonte avec



elle, et munie d'un orifice N servant à l'arrivée de la vapeur. La boîte M se termine par une tuyère P, fixée au moyen d'un filetage O, et faisant corps avec un pavillon R.

La vapeur s'échappant par l'orifice annulaire O pulvérise le pétrole qui sort de la tuyère centrale A et dont on règle l'écoulement au moyen du pointeau E que l'on peut faire avancer ou reculer à l'aide de la vis F commandée par un volant G. Le jet de vapeur peut également se régler en enfonçant plus ou moins la tuyère à vis P. Le jet pulvérisé traverse le pavillon R et aspire à son passage l'air qui servira à le brûler.

Pour l'allumage, il suffit d'ouvrir d'abord légèrement le robinet de vapeur, puis de présenter devant l'appareil un tampon imprégné de pétrole enflammé, et de tourner alors progressivement le volant G d'admission du pétrole. Le jet s'enflamme aussitôt, et l'on en gradue progressivement l'intensité en ouvrant de plus en plus les ouvertures de la vapeur et du pétrole, jusqu'au moment où les gaz sortant par la cheminée commencent à se colorer en noir. Normalement la zone annulaire de la tuyère à pétrole présente une largeur de 1 à 2 millimètres. Chaque appareil brûle de 70 à 80 kilogrammes de pétrole par heure, ce qui, en admettant un pouvoir évaporatoire de 13 litres d'eau par kilogramme, conduit à 1 000 litres environ d'eau vaporisée. On peut placer plusieurs appareils côte à côte dans le même foyer en les réunissant par un tuyau commun de distribution de pétrole; enfin quand on désire une puissance de chauffe encore plus énergique, par exemple pour les torpilleurs, on peut employer le modèle à *double lame de vapeur* dans lequel le jet de pétrole sort entre un jet central de vapeur et un jet annulaire, les deux jets se coupant de manière à amener une pulvérisation parfaite et un appel d'air énergétique. Ce modèle peut brûler jusqu'à 400 kilogrammes par heure (Colomer et Lordier).

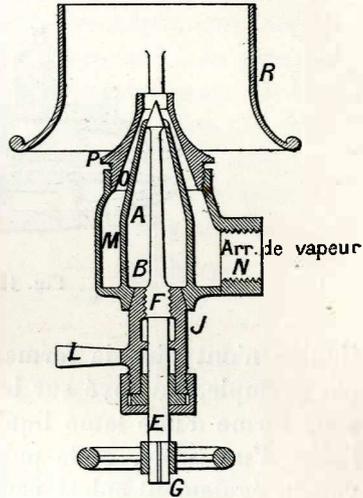


Fig. 124. — Brûleur d'Allest.

Brûleur Guyot. — Ce brûleur, qui est employé sur plusieurs



navires de la flotte française, est représenté par la figure 125. La vapeur, sous une pression de 2 à 3 atmosphères, pénètre par la tubulure H dans la tuyère B, et pulvérise le pétrole sortant de la buse A. Le réglage de la vapeur se fait au moyen de la vis E, agissant sur l'étrier F de façon à rapprocher ou à éloigner la tuyère B de la pièce A ; quant à l'écoulement du pétrole, on le règle au moyen d'un pointeau placé latéralement.

Dans d'autres modèles de brûleurs, les jets de vapeur et de

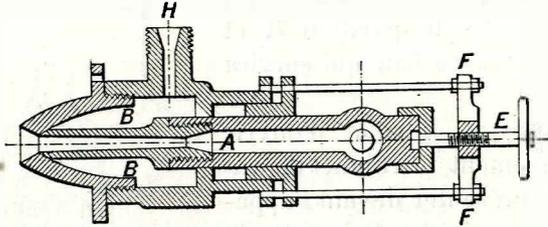


Fig. 125. — Brûleur Guyot.

liquide n'ont plus la forme annulaire. Dans le brûleur *Karapetof*, par exemple, employé sur les chemins de fer russes, le pétrole sort sous forme d'une lame liquide dont on peut modifier l'épaisseur à l'aide d'un tiroir, et la pulvérisation est effectuée par un jet de vapeur également aplati, rencontrant le premier sous une incidence d'environ 60°. L'air pénètre par aspiration entre les deux lames de pétrole et de vapeur.

Un dispositif analogue est employé dans le modèle américain *Best*, où le pétrole arrive sans pression à l'extrémité d'un siphon au-dessus duquel le jet de vapeur, soufflé par une fente horizontale, balaye et pulvérise complètement l'huile. Ce modèle présente l'avantage de ne pas s'encrasser et de ne presque jamais s'obstruer.

II. Dans une seconde catégorie de brûleurs, le jet de vapeur est remplacé par un jet d'air comprimé à 2/3 ou 1 atmosphère. L'avantage de cette substitution est d'abord une économie de vapeur qui dans certains cas est extrêmement importante, par exemple pour les chaudières marines : car avec les appareils à jet de vapeur la dépense atteint environ le 1/10 de la production totale (Colomer et Lordier). De plus, la température de la flamme obtenue avec les brûleurs à air soufflé est beaucoup plus élevée : aussi sont-ils les seuls employés dans les fours métallurgiques pour la fusion de l'acier,



par exemple. Leur pouvoir évaporatoire est aussi plus considérable et peut aller jusqu'à 16 kilogrammes, tandis qu'on ne peut dépasser 13 kilogrammes en employant la vapeur ¹. L'air comprimé doit être réchauffé avant d'être envoyé dans les brûleurs : à cet effet il traverse un faisceau tubulaire parcouru par les gaz chauds du foyer.

On peut citer, parmi les différents modèles utilisés, l'*appareil Kermode*, dans lequel le mélange de l'air et du pétrole vaporisé est assuré par une hélice placée dans le tube central livrant passage au combustible liquide. Les brûleurs d'Allest précédemment décrits peuvent également fonctionner par de l'air comprimé à la pression de 2 à 3 kilogrammes ; mais il existe aussi pour cet usage un brûleur spécialement étudié, dans lequel tout l'air nécessaire à la combustion concourt à la pulvérisation, ce qui rend celle-ci meilleure et produit un mélange plus intime. Dans ce modèle, la lame de pétrole est divisée en quatre parties, afin d'augmenter son épaisseur ; et elle est comprise entre deux lames d'air, l'une extérieure, l'autre intérieure, comme dans le modèle à double lame de vapeur.

III. Enfin on peut produire la pulvérisation du pétrole sans agent auxiliaire, vapeur ou air comprimé : il suffit qu'il soit amené sous

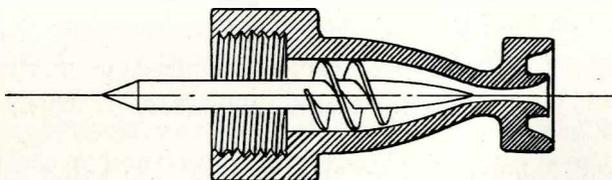


Fig. 126. — Brûleur Kœrting.

une pression suffisante (6 à 8 atmosphères) dans un ajutage de forme convenable qui lui imprime un rapide mouvement de rotation. Le jet obtenu se brise alors de lui-même au sortir de l'appareil sous l'action de la force centrifuge, et se réduit en gouttelettes très fines. Tel est le principe du *brûleur Kœrting* dont la figure ci-contre explique suffisamment le fonctionnement. L'avantage de ces appareils est de ne pas exiger de compresseur à air comme les précédents ; par contre, ils nécessitent un filtrage très soigné des huiles employées, car les orifices très réduits de la buse s'obstruent facilement. On a cherché à éviter cet inconvénient en disposant le brûleur de telle

¹ E. Butler, *Eng. Rev.*, 243 ; 1911.



sorte que la section de l'orifice d'échappement soit augmentée automatiquement en cas d'obstruction. C'est ainsi que fonctionne le brûleur américain *Automatic* figuré ci-contre. L'aiguille qui commande l'ouverture de l'appareil est reliée au pointeau de réglage *g* par l'intermédiaire d'un ressort à boudin *s* ; si une obstruction vient à se produire dans l'orifice *z*, la pression de l'huile augmente et agit sur la partie *r* de la tige formant piston plongeur pour la rame-

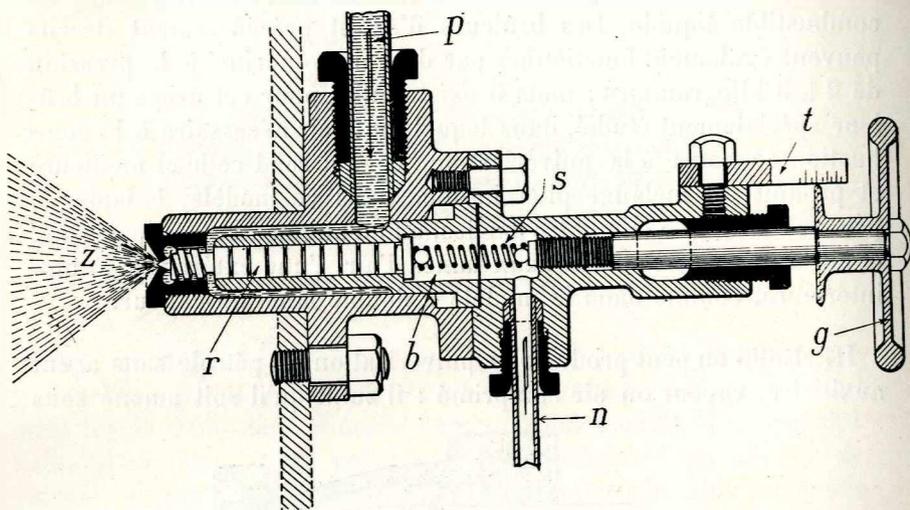


Fig. 127. — Brûleur « Automatic ».

ner en arrière et dégager l'orifice ; après quoi l'appareil reprend grâce au ressort *s* sa position primitive.

Dans les appareils à pression, l'huile doit être au préalable chauffée à une température suffisante pour rendre son inflammation plus facile (vers 100° ou 123° environ). La pression est obtenue à l'aide d'une pompe dont le débit est réglé de manière à surpasser légèrement la consommation du brûleur ; l'excès d'huile s'écoule par un pointeau de trop-plein et retourne au réservoir.

Avantages des combustibles liquides. — Créés au début spécialement pour le chauffage des chaudières, les pulvérisateurs à combustibles liquides sont maintenant employés dans toutes sortes de fours métallurgiques (fours à fusion de l'acier, fours à réchauffer, etc.¹). Nous avons déjà mentionné plus haut, à propos du pétrole (voyez

¹ Voyez *Rev. Métal.*, 7 bis, 694 ; 1940 et 8 bis, 882 ; 1941.



p. 382) les nombreux avantages des combustibles liquides. L'inconvénient que présentait le pétrole, le seul de ces combustibles dont on se servit jusqu'à ces dernières années, était la difficulté pour les pays éloignés des centres de production, tels que la France, l'Allemagne, l'Angleterre, de se le procurer dans des conditions suffisamment économiques pour l'industrie, et c'est ce qui explique qu'il ne fût employé en grand qu'en Russie ou en Amérique. Mais le goudron de houille, produit en quantité de plus en plus considérable grâce au développement des installations de fours à coke avec récupération, et dont le pouvoir calorifique est voisin de 9000 calories, se présente dès maintenant comme un combustible très intéressant, pouvant remplacer avantageusement le pétrole comme moyen de chauffage. Déjà en 1910 l'industrie allemande en consommait 300.000 tonnes, soit le 1/3 à peu près de sa production¹ et il est à présumer que cette application se développera rapidement dans l'avenir.

LES BRULEURS A GAZ ET LES CHALUMEAUX

Les principes sur lesquels repose la construction des fours à gaz de grandes dimensions ayant été exposés dans la première partie de cet ouvrage, nous n'y reviendrons pas ici et nous nous bornerons à dire quelques mots des appareils destinés à produire dans un espace très petit une température très élevée : c'est-à-dire des brûleurs ou des chalumeaux.

Dans ces appareils, on cherche moins à produire une grande quantité de chaleur qu'une température très élevée en un point. On devra donc rechercher les conditions qui permettent d'obtenir le maximum de température, c'est-à-dire assurer le mélange intime du comburant et des combustibles avant l'inflammation.

Mais un pareil mélange gazeux constitue un mélange détonnant, dans lequel la combustion se propage avec une vitesse déterminée et souvent très grande. La difficulté consistera donc à empêcher les retours de flamme, c'est-à-dire la rentrée de la flamme dans les orifices d'introduction du mélange. Les conditions de la marche rationnelle des brûleurs découlent donc de l'étude de la propagation de la combustion dans les mélanges gazeux.

Cette étude est due principalement à MM. Mallard et Le Chatelier. Nous en rappellerons les conclusions principales :

¹ Voir *Le Gaz*, 53, 84; 1909; — Teichmann et W. Bross, *St. u. Eis.*, 31, 843, 1911; *Rev. Métal.*, 8 bis, 783; 1911.



La combustion ne peut se propager que si la composition du mélange gazeux est comprise entre deux limites dites limites d'inflammabilité.

La vitesse initiale de propagation de la flamme est bien déterminée ; elle croît d'abord à partir de la limite inférieure d'inflammabilité, passe par un maximum et décroît ensuite pour s'annuler à la limite supérieure : la vitesse maxima ne correspond pas exactement à la température maxima, c'est-à-dire à la composition assurant la combustion complète ; elle est déplacée un peu par rapport à celle-ci, du côté de celui des deux gaz qui possède la meilleure conductibilité pour la chaleur.

Ainsi pour les mélanges de formène et d'air, la vitesse maxima d'inflammation se produit pour le mélange à 12 p. 100 de formène, tandis que la combustion complète correspond à 9,1 p. 100 seulement du même gaz.

Voici quelques chiffres relatifs aux mélanges des principaux gaz combustibles avec l'air :

Hydrogène p. 100 en volume.	10	20	30	40	50	60	70
Vitesses en mètres-seconde.	0,6	1,95	3,30	4,37	3,45	2,30	1,10
Méthane p. 100	6	8	9	10	12	14	16
V	0,03	0,23	0,33	0,42	0,61	0,36	0,10
Acétylène p. 100.	2,9	5	7	9	15	22	40
V	0,1	2	4	6	3	0,4	0,22
Gaz d'éclairage	8	10	12	14	15	17	20
V	0,30	0,50	0,72	0,93	1,05	1,27	0,80

Les chiffres gras sont ceux qui se rapprochent le plus de la formule de combustion complète.

Quand on remplace l'air par l'oxygène pur on trouve des chiffres beaucoup plus élevés : 20 mètres par seconde pour le mélange oxyhydrique et 200 pour le mélange oxyacétylénique.

La vitesse de propagation de la flamme, pour un mélange donné enfermé dans un tube de diamètre donné, ne reste d'ailleurs constante que pendant quelques instants. Bientôt en général elle augmente progressivement, et dans certains cas elle peut acquérir une nouvelle valeur constante mais très élevée, résultant de la propagation de l'onde *explosive* dont les effets destructifs sont à redouter.

Enfin la vitesse initiale de propagation dépend du diamètre du tube. Pour un diamètre suffisamment faible, la flamme ne se propage plus ; la vitesse augmente ensuite avec le diamètre jusqu'à ce que



celui-ci ait pris environ cinq fois sa valeur minima : voici quelques chiffres relatifs au mélange d'hydrogène et d'air à 30 p. 100.

Diamètre du tube en millimètres	0,25	0,9	3,0	6,0	10,0
Vitesse de propagation en mètres par seconde.	0,0	1,72	2,50	3,25	3,50

Appliquons ces résultats à la construction des brûleurs :

Pour que la flamme se produise régulièrement à l'extrémité du brûleur, sans revenir en arrière, il faut que la vitesse de sortie du mélange gazeux soit supérieure à la vitesse de propagation de la flamme à l'intérieur du tube.

On peut donc empêcher les retours de flamme :

En augmentant la vitesse d'écoulement du mélange ;

En diminuant le diamètre de l'orifice ;

En diminuant la proportion de l'air dans le mélange. Cette solution est d'ailleurs la plus mauvaise puisqu'elle abaisse la température.

Le prototype des brûleurs à gaz est le brûleur Bunsen, trop connu pour qu'il soit nécessaire de le décrire. Le gaz, s'échappant par une tuyère centrale, aspire l'air par deux ouvertures latérales. Le mélange s'effectue dans un tube métallique vertical ou coudé, et est allumé à l'extrémité.

Appelons V la vitesse d'écoulement du gaz au sortir de l'ajutage central, v la vitesse du mélange avec l'air. Si nous appelons m et M les masses de gaz et d'air qui s'écoulent dans l'unité de temps, le théorème des quantités de mouvement donne immédiatement :

$$mV = (M + m) v.$$

Si l'on cherche à effectuer le mélange correspondant à la combustion complète, on doit prendre comme rapport des volumes de gaz et d'air $\frac{1}{5,25}$, soit comme rapport des masses environ $\frac{1}{13}$; et l'on a par suite :

$$\frac{v}{V} = \frac{m}{M + m} = \frac{1}{14}$$

Si l'on suppose la pression du gaz de 4 centimètres d'eau, on trouve, la densité du gaz d'éclairage étant les 4 dixièmes de celle de l'air, soit 0,00052 fois celle de l'eau :

$$V = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 981 \times \frac{4}{0,00052}} = 39 \text{ mètres.}$$



La vitesse de sortie du mélange à l'extrémité du bec serait donc de $\frac{39}{14} = 2,80$ m. environ, c'est-à-dire notablement supérieure à la vitesse maxima de propagation de la flamme, qui ne dépasse pas 1,20 m. La flamme ne devrait donc jamais rentrer dans le brûleur, contrairement à ce que l'on observe. Mais il faut tenir compte de ce que la vitesse calculée est celle des gaz chauds à l'extrémité du brûleur, dont le volume est environ 5 fois celui du mélange froid contenu dans le tube ; la vitesse de ce mélange ne sera donc que de 0^m,56 ; c'est-à-dire que les retours de flamme se produiront fatalement ¹.

Pour empêcher le bec de « brûler en dedans », on diminue l'accès de l'air à l'aide de la bague de réglage, de manière à diminuer la vitesse de propagation de la flamme, tout en augmentant la vitesse de sortie du mélange combustible.

Cette condition nécessaire du fonctionnement du brûleur Bunsen est évidemment défectueuse. De plus, le mélange d'air et de gaz n'est jamais parfait.

Au lieu de diminuer la proportion d'air, nous avons vu qu'on peut diminuer le diamètre du tube de sortie ; on y arrive en coiffant le brûleur d'une toile métallique qui agit comme une série de petits tubes rangés parallèlement. On peut ainsi augmenter sensiblement la teneur en air, et par suite la température. Cette solution avait été adoptée pour les brûleurs Auer.

On obtient un meilleur résultat en remplaçant la toile métallique par une double série de lames de nickel formant un quadrillage d'environ 2 millimètres de côté (*brûleurs Méker*). Ce dispositif assure un refroidissement très efficace. Aussi permet-il d'utiliser des mélanges correspondant à la composition théorique, et d'une homogénéité parfaite.

On augmente la température produite par les brûleurs en augmentant la quantité de gaz brûlé par seconde, pour un orifice donné. Il suffit pour cela d'augmenter la vitesse d'écoulement du mélange, et comme on ne peut pas commodément augmenter la vitesse d'écoulement de sortie du gaz, on introduit l'air sous pression. On réalise ainsi les brûleurs à air soufflé qui permettent d'atteindre la température de fusion du platine ².

¹ Voir Mallard et Le Chatelier, *Ann. Min.*, (8), 4, 372 ; 1883.

² Dans certains cas cependant on préfère comprimer le gaz au préalable et employer l'air à la pression ordinaire : on évite de la sorte une double canalisation, ce qui est par-



Les brûleurs du type Bunsen ou analogues ne sont ordinairement utilisés que pour le chauffage des appareils de laboratoire. Cependant on a pu les employer avantageusement dans certains cas particuliers pour chauffer des enceintes d'assez grandes dimensions. C'est ainsi que la Société Méker construit des brûleurs à grand débit (fig. 128), spécialement destinés au chauffage des fours de boulangers, et qui ne diffèrent des brûleurs ordinaires que par leurs plus grandes dimen-

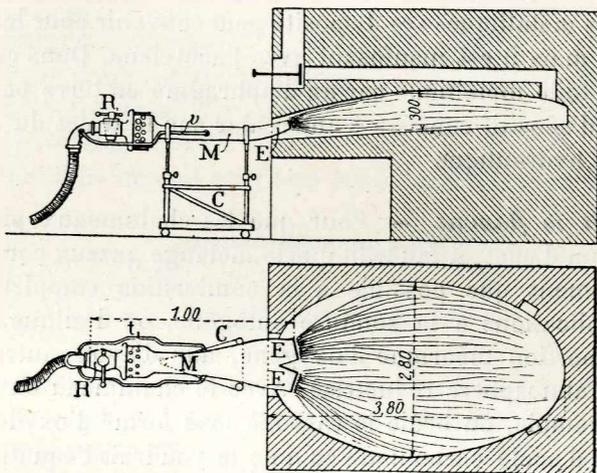


Fig. 128. — Brûleur Méker pour fours de boulangers.

sions. L'extrémité est divisée en deux orifices E, obturés chacun par un cloisonnage en nickel de 200×95 millimètres. Deux petits tubes latéraux servent à entretenir deux veilleuses destinées à assurer l'allumage sans explosion. L'appareil consomme de 20 à 28 mètres cubes de gaz à l'heure¹.

Chalumeaux. — Les chalumeaux destinés à la soudure autogène ne sont en somme que des brûleurs où l'air soufflé est remplacé par l'oxygène. Comme la vitesse d'inflammation des mélanges employés devient beaucoup plus élevée qu'avec l'air, on doit rechercher tout spécialement à éviter les retours de flamme qui pour-

ticulièrement avantageux pour l'éclairage. C'est ainsi par exemple que fonctionnent les brûleurs destinés à l'éclairage à l'incandescence du boulevard Raspail (lampe Grätzin au gaz surpressé). [Voyez *Gén. Civ.*, 58, 409; 1911].

¹ *Gén. Civ.*, 57, 197; 1910. — *Le Gaz.* 54, 441; 1910.



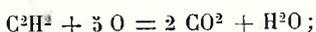
raient, surtout avec le mélange oxy-acétylénique, causer des accidents graves.

Dans beaucoup de modèles, on se contente d'amener les gaz par des tubes séparés, et de les mélanger très près de la sortie, de sorte que le volume occupé par le mélange explosif est insignifiant et l'explosion due au retour de flamme sans danger ; si cet accident se produit, on ferme le robinet d'oxygène.

Dans d'autres modèles, on s'oppose au retour de flamme en intercalant des toiles métalliques : ce dispositif peut convenir pour le mélange oxyhydrique, mais il est insuffisant avec l'acétylène. Dans ce cas, on remplace la toile métallique par un diaphragme en terre poreuse.

Un autre dispositif consiste à intercaler sur le trajet du mélange une soupape hydraulique.

Réglage de la flamme. — Pour que les chalumeaux produisent leur maximum d'effet, il faudrait que le mélange gazeux corresponde aussi exactement que possible à la combustion complète ; mais pour les applications à la soudure autogène, on diminue notablement la proportion théorique d'oxygène, afin d'avoir autour de la flamme une atmosphère réductrice. Avec le chalumeau oxyacétylénique par exemple, on brûle le carbone sous forme d'oxyde de carbone et non d'acide carbonique comme le voudrait l'équation :



de même avec le gaz d'éclairage. On se guide pour effectuer le réglage nécessaire sur l'aspect de la flamme. On introduit d'abord le gaz combustible seul, ce qui produit une flamme éclairante ; on ouvre alors progressivement le robinet d'oxygène jusqu'à ce que la flamme devienne pâle, avec un dard central bleu, dont la longueur doit être de 8-10 millimètres avec le gaz d'éclairage et un peu plus faible avec l'acétylène. Le réglage de la flamme oxyhydrique, qui est presque invisible, est beaucoup plus difficile : on se guide généralement sur les débits comparés des deux gaz, à l'aide de tableaux préparés à l'avance, de manière à introduire un excès convenable d'hydrogène.

Nous décrirons rapidement, en nous guidant sur l'ouvrage de M. Châtelain¹, quelques types de chalumeaux parmi les plus usités :

CHALUMEAUX EMPLOYANT L'HYDROGÈNE. — *Chalumeau « L'oxyhy-*

¹ Châtelain, *Sa soudure autogène*; Paris, 1909.



drique ». — Ce chalumeau réalise le mélange préalable des deux gaz à l'aide d'un *mélangeur de sécurité*, caisse étanche à peu près complètement remplie d'eau froide. Les deux gaz sont introduits par deux tubes qui pénètrent dans l'eau, ils vont se réunir et se mélanger dans le petit espace ménagé à la partie supérieure, et de là se rendent par un tube unique au chalumeau. Le retour de flamme, s'il se produit, s'arrête au mélangeur.

La température obtenue peut être évaluée à 1 800-2 200°.

CHALUMEAUX A ACÉTYLÈNE. — *Chalumeau B R C.* — Les deux gaz arrivent par deux tubulures différentes et sont mélangés près de la sortie. En outre, l'acétylène doit traverser un cylindre rempli de terre poreuse empêchant les retours de flamme.

Le même chalumeau peut être également alimenté par de l'acéty-

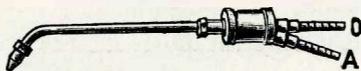


Fig. 129. — Chalumeau B R C.

lène sans pression, mais dans ce cas on le munit d'un injecteur à oxygène produisant l'appel du gaz combustible.

La température obtenue pratiquement à l'aide des chalumeaux oxyacétyléniques est d'environ 3 000°.

CHALUMEAUX A GAZ D'ÉCLAIRAGE. — Le gaz d'éclairage ne permet pas d'atteindre des températures aussi élevées que l'hydrogène ni surtout que l'acétylène; il ne donne guère plus de 1 650°, ce qui est insuffisant pour la soudure autogène du fer.

M. G. Claude a imaginé un dispositif très intéressant permettant avec le même mélange d'atteindre une température de 2 200-2 400°, c'est-à-dire supérieure à celle du chalumeau oxyhydrique. On arrive à ce résultat tout simplement en chauffant préalablement le mélange gazeux à l'aide d'une flamme auxiliaire.

Le *chalumeau chauffeur* de G. Claude comporte une poignée creuse dans laquelle s'effectue le mélange gazeux, l'oxygène arrivant par un tube placé suivant l'axe et terminé par une tuyère, l'hydrogène circulant autour de ce tube et se trouvant aspiré par le jet d'oxygène. Le mélange se complète dans une petite chambre cylindrique placée à la suite de la poignée, puis se rend à l'extrémité du chalumeau par un tube enroulé en serpentín, à 5 ou 6 spires. Un très



petit trou percé à la partie supérieure de la chambre de mélange livre passage à un mince jet de gaz que l'on enflamme et qui porte le serpent, et par suite les gaz qui y circulent, à une température d'environ 600°.

CHALUMEAU ODAM A COMBUSTIBLE LIQUIDE. — Les chalumeaux à acétylène ou à hydrogène exigent la préparation préalable du gaz, ou le transport d'un réservoir en plus de celui qui doit contenir l'oxygène. Le chalumeau Odam ne nécessite que ce dernier gaz, et emploie comme combustible un liquide carburé quelconque, essence, benzol ou alcool que l'on peut se procurer partout.

Ce liquide est placé dans un récipient clos dans lequel on comprime de l'air à 1 kilogramme ou 1 kilogramme $\frac{1}{2}$ au moyen d'une petite pompe à main, de manière à l'envoyer dans le chalumeau par

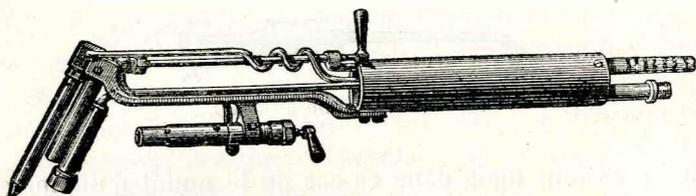


Fig. 130. — Chalumeau Odam à combustible liquide.

l'intermédiaire d'un tube souple. Il est ainsi conduit successivement dans un tube vaporisateur, dans une chambre de vapeur annulaire, enfin dans une chambre de mélange où il est entraîné par un jet d'oxygène débouchant d'un orifice étroit, dans un orifice formant Giffard qui conduit le mélange gazeux jusqu'à la sortie.

Le chauffage du tube vaporisateur est assuré par une prise de gaz faite dans la chambre de vapeur, et alimentant un brûleur où l'air sert de comburant. Un robinet règle l'arrivée du liquide dans le chalumeau et dans le brûleur.

Chalumeaux à couper. — On sait que le fer brûle dans l'oxygène pur en se transformant en oxyde magnétique fusible à cette température.

On a fondé sur cette propriété un intéressant procédé de coupage des tôles et pièces de fer. Les premiers essais ont été faits en chauffant un point de la tôle au rouge blanc avec le chalumeau oxyhydrique, puis fermant le robinet d'hydrogène et augmentant le débit de l'oxygène. Mais si le réglage n'était pas très bien fait, la température tom-



bait et l'opération s'arrêtait ; on a alors imaginé le dispositif actuel qui comprend deux chalumeaux : un chalumeau ordinaire servant à chauffer la pièce, et un jet d'oxygène pur qui vient frapper le point chauffé et produit la coupure. L'appareil peut être déplacé à la main ou au moyen d'un support articulé. La coupure produite est aussi nette qu'à la scie. La largeur de voie n'est que de 2 millimètres pour une tôle de 15 millimètres, et de 3 millimètres pour une tôle de 100 millimètres.

La vitesse de coupe dans le premier cas est de 20 centimètres par minute, avec une dépense de 540 litres d'hydrogène et 450 litres d'oxygène par mètre courant.

Nous donnons ci-contre le dessin d'un chalumeau coupeur, le

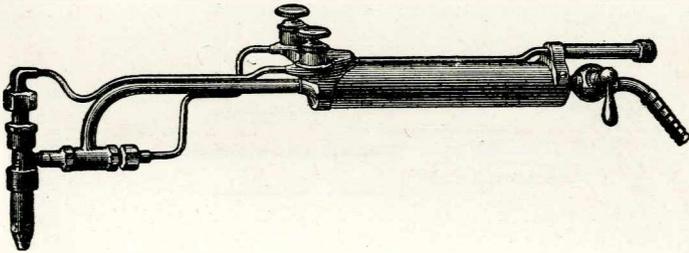


Fig. 131. — Chalumeau coupeur Pyrocopt.

Pyrocopt de M. A. Le Chatelier, dans lequel le jet chauffant sort par un espace annulaire, ayant pour centre le jet coupant.

Le *chalumeau oxydeconstructeur* à essence est analogue au chalumeau ordinaire Odam ; il n'en diffère que par une seconde arrivée d'oxygène pour le coupage.



CATALOGUE D'OUVRAGES
SUR
LES MINES ET LA MÉTALLURGIE

ÉDITÉS PAR

La Librairie Polytechnique CH. BÉRANGER

Successeur de BAUDRY et C^{ie}

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, A PARIS

21, RUE DE LA RÉGENCE, A LIÈGE

Le catalogue complet est envoyé franco sur demande.

EXPLOITATION DES MINES

Législation des mines. — France.

La législation des mines en France, par L. AGUILLOU, inspecteur général des mines, professeur de législation à l'École des Mines. Nouvelle édition. 1 fort volume in-8° de plus de 1 000 pages. 25 fr.

Législation des mines. — Etranger.

Législation des mines à l'étranger, par L. AGUILLOU, inspecteur général des mines, professeur de législation à l'École des Mines de Paris. 1 vol. in-8°. . . 15 fr.

Codes miniers.

Codes miniers. Recueil des lois relatives à l'industrie des mines dans les divers pays, publié sous la direction du COMITÉ CENTRAL DES HOUILLÈRES DE FRANCE.

CODE MINIER RUSSE. 1 volume grand in-8° 15 fr.

CODE MINIER BELGE. 1 volume grand in-8° 10 fr.

Les autres pays. *En préparation.*

Aide-mémoire du mineur et du prospecteur.

Aide-mémoire du mineur et du prospecteur. Géologie, hydrologie, description des principaux minéraux, description sommaire des roches, roches d'exploitation industrielle, description des principaux minerais, essai des minerais, programme d'une exploitation minière, prospections et sondages, abatage, percement des galeries, fonçage des puits, éclairage et assèchement des mines, transports, extraction, translation des ouvriers, matériel d'exploitation d'une mine, méthodes d'exploitation, emploi de l'air comprimé, emploi de l'électricité, levé des plans de mines, législation des mines en France, conversion des mesures étrangères en mesures françaises, tables et renseignements divers, glossaire des termes employés dans les mines en français, anglais et espagnol, par P.-F. CHALON, ingénieur des arts et manufactures. 3^e édition. 1 volume in-12 avec figures. Relié 7 fr. 50



Exploitation des mines.

Exploitation des mines. — *Cites minérales.* — Minéraux utiles non métallifères. — Minerais. — Eaux souterraines. — Marche générale d'une exploitation, recherches, aménagements. — Transmission de la force dans les mines. — Travaux d'excavation, outillage et procédés de l'abatage. — Sondages. — Puits, galeries, tunnels. — Aérage, éclairage. — Transports souterrains. — Extraction, descente des remblais, translation des ouvriers. — Assèchement des mines. — Méthodes d'exploitation, transports extérieurs, manipulations au jour. — Préparation mécanique des minerais, épuration de la houille. — Accidents, personnel, loi des mines, prix de revient, par E.-J. DOMOX, ingénieur civil, répétiteur à l'Ecole Centrale. 1 volume grand in-8° avec figures dans le texte. 25 fr.

Exploitation des mines.

Cours d'exploitation des mines, professé à l'Ecole centrale des arts et manufactures, par BURAT. 1 volume grand in-8° et 1 atlas in-4° de 143 planches doubles 80 fr.

Exploitation des mines.

Traité de l'exploitation des mines de houille, ou exposition comparative des méthodes employées en Belgique, en France, en Allemagne et en Angleterre, pour l'arrachement et l'extraction des minerais combustibles, par POXSON. 2^e édition. 4 gros volumes in-8° et un atlas de 80 planches. 72 fr.
• Supplément au traité de l'exploitation des mines de houille, par le même auteur. 2 gros volumes in-8° et 1 atlas de 68 planches in-folio 60 fr.

Exploitation des mines.

Traité pratique de l'exploitation des mines, leçons professées à l'Institut industriel du nord de la France, par ALFRED EVRAUD, 2 volumes grand in-8° et 1 atlas in-folio contenant 39 planches. 60 fr.

Exploitation des mines.

Traité d'exploitation des mines de houille, par CH. DEMANET, ingénieur des mines, 2^e édition revue, augmentée et mise au courant des progrès les plus récents, par A. DEFRANE-DEMANET, ingénieur des mines. 3 volumes in-8°, avec 750 figures dans le texte, reliés 30 fr.

Remblayage à l'eau.

Description des diverses dispositions et installations pour le remblayage à l'eau, par OTTO PUTZ, ingénieur des mines diplômé, traduit de l'allemand par JULES FRANÇOIS, ingénieur des mines. 1 volume in-8°, contenant 44 figures intercalées dans le texte. 5 fr.

Minerais aurifères.

Etude pratique des minerais aurifères principalement dans les colonies et pays isolés. *Essais chimiques des minerais aurifères.* Matériel à emporter, construction du laboratoire et des fours, préparations et travaux accessoires, des erreurs et de la précision, principaux produits employés dans les essais d'or. *Minerais et échantillons.* Minerais aurifères en général, calcul des moyennes, traitement des échantillons au laboratoire. *Méthodes d'essai par la voie sèche.* Scorification, fusion au creuset, coupellation, traitement des boutons d'or et d'argent, titrage des lingots, dosage de l'or dans les solutions de cyanures, par N. DÉGOUTIN, ingénieur civil des mines. 1 volume in-8° contenant 20 figures dans le texte. 10 fr.

Ventilation des mines.

Manuel de la ventilation des mines. L'air des mines. Griston et poussières charbonneuses. Production du mouvement de l'air et la ventilation. Notions théoriques concernant la ventilation. Ventilation naturelle. Ventilation artificielle. Introduction et répartition du courant d'aérage. Ventilation des travaux. Eclairage des mines. Appareils respiratoires, incendies des mines, explosion de grison et moyens usités pour combattre ces accidents par JAROSLAV JICINSKY, ingénieur, directeur des mines pour Rossitz (Autriche). Traduit d'après la 4^e édition allemande. Revu et augmenté par le Dr L. GAETZER, 1 volume grand in-8° avec 234 figures dans le texte et deux planches en couleurs. Relié 45 fr.



Ventilateurs.

N. B. — Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines* et se vendent, avec la livraison qui les renferme, au prix de 2 fr. la livraison.

Ventilateur genre Guibal, de 6 mètres de diamètre, de la Compagnie des Mines d'Anzin avec une planche. Livraison d'octobre 1901 2 fr.

Ventilateurs industriels, système Farcot, avec 3 planches, livraison de janvier 1905 2 fr.

Moyens de transport.

Les moyens de transport appliqués dans les mines, les usines et les travaux publics, voitures, tramways, chemins de fer, plans inclinés, trainage par câble et par chaîne, etc., organisation et matériel, par A. EVARD, directeur des aciéries et forges de Firminy. 2 volumes in-8° avec 1 atlas de 123 planches in-folio contenant 1 400 figures 100 fr.

Le matériel des mines à l'Exposition de 1900.

Exposition universelle de Paris 1900. Le matériel des mines. Sondages, abalage mécanique, creusements et soutènements. Transport, extraction. Aérage, éclairage, Charbonnements et manutentions, par A. HABETS, professeur à la faculté technique de l'Université de Liège. 1 volume in-8° contenant 33 figures dans le texte et 18 planches hors texte 10 fr.

Eboulements dans les mines.

Compte rendu des travaux de la Commission prussienne des Eboulements. (*Publié par les soins du Comité central des Houillères de France.*) Compte rendu des séances de la commission. Rapports généraux sur les bassins allemands. Documents statistiques. Eclairage à l'acétylène. Rapports généraux sur les bassins étrangers, développement des méthodes de remblayage, remblayage à l'eau, nouvelles méthodes d'exploitation dans les mines fiscales de la Sarre, soutènement systématique, par M. A. LÉPROUX, ingénieur au corps des mines. 1 volume grand in-8, contenant 281 figures dans le texte, 8 tableaux de statistique et 42 planches hors texte. 25 fr.

Cartes des Houillères du Nord et du Pas-de-Calais. *

Carte d'ensemble des exploitations houillères du Nord et du Pas-de-Calais, à l'échelle de 50 000° avec coupes, par H. CHARPENTIER, ingénieur civil des mines. Cette carte imprimée en quatre couleurs, offre un développement à l'intérieur du cadre de 2^m,07 sur 0^m,75. Prix, en feuille 16 fr.
Collée sur toile, en une feuille. 23 fr.

Carte des bassins houillers des régions du Nord. *

Carte générale représentant les gisements miniers des régions du Nord (Pas-de-Calais, Nord, Belgique, Allemagne) à 200 mètres sous le niveau de la mer, par C. QUINET, ancien ingénieur du fond à la Compagnie des mines d'Anzin, à l'échelle de 200 000° pour le plan horizontal, et au 100 000° pour les coupes verticales. 4 feuilles de 0,65 x 0,87, réunies en une seule planche, avec une notice explicative 25 fr.

Bassin houiller du Nord de la Belgique.

Le bassin houiller du Nord de la Belgique, par P. HABETS, ingénieur honoraire des mines et M. HABETS, ingénieur des mines. 1 brochure in-8° contenant une carte géologique et orographique du sous-sol primaire du N.-E. de la Belgique et des régions avoisinantes. 1 carte d'ensemble des bassins houillers du Nord de la Belgique et du Nord-Ouest de l'Allemagne et une planche de coupe. 6 fr.

Bassin houiller du Plateau Central.

Le bassin houiller du Plateau Central. Mines de Noyant, du Montet et de la Pochonnière (Allier); de Saint-Eloy, la Bouille, Saint-Gervais, Pontaumur, Puy-Saint-Gulmier, Messeix, la Burande et Varazennes ou Charbonnages de Bort (Puy-de-Dôme), de Champagnac, et Veudes (Cantal), par F. BAUDOT, ingénieur civil des mines. 1 volume in-4°, contenant 11 figures dans le texte et 4 planches hors texte. 10 fr.



Matériel des houillères.

Le matériel des houillères en France et en Belgique, par BURAT. 1 volume grand in-8° et 1 atlas de 77 planches in-folio. 60 fr.
Supplément au matériel des houillères, par le même auteur. 1 volume grand in-8° et 1 atlas de 40 planches in-folio. 30 fr.

Transport de la force dans les mines.

N. B. — Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines* et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr. la livraison.

Transmission et utilisation de la force dans les mines : I. Généralités. II. Etude comparative des divers agents de transmission de force avec 7 planches. Livraisons de juin, juillet et août 1904. 6 fr.

III. Les compresseurs d'air à commande électrique pour les installations souterraines avec 3 planches doubles et une planche simple. Livraisons de juillet et août 1904. 4 fr.

IV. De l'emploi de l'électricité dans les mines. Livraisons de juillet et août 1905. 4 fr.

Emploi de l'électricité A. Stations génératrices avec deux planches et 20 figures dans le texte. Livraisons de août, septembre et octobre 1905. 6 fr.

Emploi de l'électricité B. dynamos, moteurs et transformateurs, avec 1 planche, livraisons de décembre 1903, janvier, février, mars et avril 1906. 10 fr.

Emploi de l'électricité C. conducteurs de courant avec leurs points singuliers. Livraisons de mai, juin, juillet, août, septembre et octobre 1906. 12 fr.

Basculage et triage de la houille.

Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines* et se vendent, avec la livraison qui les renferme, au prix de 2 fr. la livraison.

Installation de surface de la mine de Kirkby (Angleterre). Appareils de basculage et de tirage de la houille, avec 2 planches. Livraison d'avril 1908. 2 fr.

Basculeur automatique, système Malissard-Taza, avec 3 planches, livraison d'avril 1902. 2 fr.

Perforateurs.

Appareil pour creuser les galeries en roche sans le secours de la poudre dans les mines à grison de DEBOIS et FRAXEDIS, avec 1 planche. Ce mémoire a paru dans la livraison de décembre 1876 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison. 2 fr.

Machine d'extraction.

Machine d'extraction construite par la Société Autrichienne-Hongroise des chemins de fer de l'Etat, à Vienne, avec deux planches. Ce mémoire a paru dans la livraison de mai 1889 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison. 2 fr.

Câbles d'extraction.

Recherches expérimentales sur la résistance et l'élasticité des câbles d'extraction. Considérations générales sur les essais des câbles. Résultat des essais sur la résistance des câbles en aloés, recherches sur l'élasticité des câbles en aloés, câbles métalliques. *Extrait du congrès international des mines tenu à Liège en 1903*, par L. DEXOET, ingénieur principal des mines, répétiteur à l'Université de Liège. 1 volume in-8°, avec figures dans le texte. 6 fr. 50

Machines à agglomérer.

N. B. — Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines* et se vendent, avec la livraison qui les renferme, au prix de 2 fr. la livraison.

Machine à fabriquer les briques et agglomérés divers, système Durand et Marais, avec 1 planche. Livraison de mai 1879. 2 fr.

Usine à briquettes des Sables-d'Olonne et machine à briquettes système Durand et Marais, avec 2 planches. Livraison de février 1880. 2 fr.

Appareil pour la fabrication des agglomérés de DREVY et fils, avec 1 planche. Livraison de novembre 1882. 2 fr.

Fabrication des combustibles agglomérés. Four à sole tournante. Machine à double compression, système Couffinhal, avec 1 planche. Livraison de juillet 1884. 2 fr.



- Machine à agglomérer les briquettes de charbon de 250 grammes. avec 1 planche. Livraison de décembre 1889 2 fr.
Fabrication des agglomérés ovoïdes. avec 1 planche Livraison d'août 1891. 2 fr.
Machine à briquettes, système Middleton. Livraison de septembre 1894. 2 fr.
Machines à agglomérer les charbons, système Veillon. avec 2 planches. Livraison de décembre 1905 2 fr.
Machine à agglomérer les charbons, système Couffignal avec 2 planches. Livraison de février 1906. 2 fr.
Machine à mouler les pierres artificielles en béton de ciment armé, avec 3 planches. Livraison de juillet 1906. 2 fr.

Air comprimé.

Traité élémentaire de l'air comprimé, par JOSEPH COSTA, ingénieur civil, ancien élève de l'École polytechnique. 1 volume grand in-8°. *Epuisé. Une nouvelle édition est en préparation.*

Compresseurs secs.

La construction des compresseurs secs en Allemagne par H. DESCHAMPS, professeur à Liège. 1 volume in-8° avec 4 planches hors texte 2 fr. 50

Plans de mines.

Tables de projections pour la levée des plans de mines, calculées de minute en minute (en langue espagnole) par MARIANO ZUAZNAVAR. 1 volume in-12. 10 fr.

Statistique de l'industrie minérale. *

Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie, avec un appendice concernant la statistique minérale internationale pour l'année 1906. publiée par le ministère des Travaux publics. 1 volume in-4°, contenant 31 tableaux statistiques 10 fr.

Atlas du comité des houillères.

Atlas du comité central des houillères de France. Cartes des bassins houillers de la France, de la Grande-Bretagne, de la Belgique et de l'Allemagne, accompagnées d'une description technique générale et de renseignements statistiques et commerciaux, par E. GREUXER, ingénieur civil des mines. 1 volume in-4° avec 39 planches imprimées en couleur. 40 fr.

Houillères de Blanzv.

Société des houillères de Blanzv. Situation de ses établissements en 1877. par BERAT. 1 volume in-4°, avec un portrait et 20 grandes planches, dont 1 carte en couleur 40 fr.

Mines d'Anzin.

Les mines d'Anzin. Etude historique et technique, par GARCENOT. 1 volume grand in-8° avec deux planches. 4 fr.

Carrières.

Carrières de grès de la Ville de Paris, dite carrière des Maréchaux, avec 1 planche. Ce mémoire a paru dans les livraisons d'octobre et novembre 1890 des *Annales de la construction*. Prix 4 fr.

Appareils de sécurité employés dans les mines.

Les appareils de sécurité employés dans les mines à l'Exposition de 1900, par H. SCHMEBER, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-8° contenant 47 figures dans le texte et 1 planche hors texte. 3 fr.

Parachute.

Parachute pour cage de mine, système Malissard, avec deux planches, livraison de mars 1902 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison 2 fr.



Ecole des Mines de Paris.

L'Ecole des Mines de Paris. — Histoire. — Organisation. — Enseignement. Elèves ingénieurs et élèves externes, par GRATEAU. 1 brochure in-8°, utile aux candidats et élèves. 1 fr.

Traité des explosifs.

Traité théorique et pratique des explosifs, destinés aux exploitants de mines et carrières et comprenant une étude spéciale sur la question du grisou et des poussières dans les mines de charbon. Historique, généralités sur les explosifs, monographies des différents explosifs, accidents qui surviennent dans les travaux de minage, destruction des explosifs. Tirage des mines à l'aide d'un fêtu, tirage des mines à l'aide d'une mèche, tirage d'une mine à l'aide d'une étouppille, procédés chimiques permettant d'effectuer le tirage des mines sans le secours d'une mèche, tirage des mines par l'électricité, tirage des mines par influence, par F. HEISE, professeur à l'Académie royale des mines de Berlin, traduit de l'allemand et adapté par J. AUBRAC, ingénieur au corps national des mines, 1 volume in-8°, contenant 146 figures dans le texte. Relié 12 fr.

L'Electricité dans les mines.

L'électricité dans les mines en Europe. Considérations générales, genres de courants et de moteurs, centrales, éclairage, télégraphie minière, extraction, forage, alutage, ventilation, balage, transport, allumage des mines, traitement des minerais, par E. GCARINI, directeur de la *Revue de l'Electricité de Lausanne*, 2^e édition. 1 brochure in-8° contenant 30 figures dans le texte. 3 fr.

Tirage des mines par l'électricité.

Le tirage des mines par l'électricité, par PAUL-F. CHALON, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-18, avec 90 figures dans le texte, relié 7 fr. 50

Dynamite.

La dynamite et la nitroglycérine, par CHAMPION. 1 volume in-18 Jésus, avec de nombreuses gravures sur bois. 4 fr.

Emploi des explosifs dans les mines.

Recherches sur l'emploi des explosifs en présence du grisou, dans les principaux pays miniers de l'Europe, par H. SCHMERBER, ingénieur des arts et manufactures, avec une préface de M. E. SARRAC, inspecteur général des poudres et salpêtres, membre de l'Institut. 1 volume in-8°, contenant 83 figures dans le texte. 7 fr. 50

Explosifs de sûreté.

Explosifs de sûreté. Grisoutite, Wetterdynamites, explosifs à base d'azotate d'ammoniaque, avec un compte rendu des travaux de la commission autrichienne du grisou et des expériences de Lohmann, à Neukirchen, par A. MACQUET, ingénieur au corps des mines, directeur de l'Ecole des Mines du Hainaut. 1 volume grand in-8° avec 1 planche. 12 fr.

Grisou.

Le grisou. Nature, propriété, origine et dégagement du grisou. Rôle de l'aérage, dangers d'inflammation, sauvetage, développement d'une conférence faite à la Société scientifique de Bruxelles le 26 avril 1906 par A. RENIER, ingénieur des mines. 1 brochure in-8° 1 fr. 50

Grisou.

Auto-captur pour air de mine, système Petit, avec une planche. Ce mémoire a paru dans la livraison de mars 1897 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison 2 fr.

Grisou.

Résumé des conclusions du rapport final de la Commission autrichienne du grisou. Traduction de REXY GREY, conseiller des mines. 1 brochure in-8° 1 fr.



Bulletin de l'Industrie minière. *

Bulletin de la Société de l'Industrie minière de Saint-Etienne. Trimestriel Paris, et départements. 33 fr. : Union postale. 40 fr.

Dictionnaire des industries minières et métallurgiques.

Dictionnaire des industries minières et métallurgiques et des sciences qui s'y rapportent. par MAX VESATOR, ingénieur des mines.

- TOME I. Deutsch, Spanisch, Französisch, Englisches. 1 volume in-8° relié. 7 fr.
- II. Englisch, German, Spanish, French. 1 volume in-8° relié 6 fr.
- III. Español, Aleman, Francés, Inglés. 1 volume in-8° relié. . . . 7 fr.

MÉTALLURGIE

Métallurgie générale.

Traité de métallurgie générale. Exposé des principes généraux. Opérations que nécessite le traitement des minerais et des produits métallurgiques en vue de la séparation des métaux qu'ils renferment. Traitement des corps métallifères. Appareils usités pour l'extraction des différents métaux par la voie sèche, la voie humide ou la voie électrométallurgique. Corps à l'aide desquels on produit la séparation des métaux des minerais ou des autres substances métallifères; etc. Par C. SCHNABEL, conseiller supérieur des mines à Berlin, ancien professeur à l'Académie des mines de Clausthal (Harz), traduit d'après la deuxième édition allemande, par le Dr L. GAUTIER. 1 fort volume grand in-8° contenant 768 figures dans le texte. Relié 30 fr.

Métallurgie générale.

Traité théorique et pratique de la métallurgie générale, par L. BABU, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École nationale supérieure des mines.

Tome I. Éléments et produits des opérations métallurgiques. Minerais, capital, travail, énergie, énergie électrique, énergie chimique, énergie mécanique, énergie thermique, combustion, production, utilisation et récupération de la chaleur, métaux et alliages, laitiers et scories. 1 volume grand in-8° avec 148 figures dans le texte. Relié 23 fr.

Tome II. *Combustibles*. Combustibles récents de l'époque actuelle, combustibles solides anciens, combustibles spéciaux, combustibles carbonisés, charbon de bois, coke, combustibles gazeux et appareils de fabrication. *Appareils métallurgiques*. Foyers indépendants, classification et description des fours, construction des fours, appareils destinés à l'alimentation et au soufflage, appareils de chauffage du vent des fourneaux, appareils accessoires, purification des fumées. 1 volume grand in-8°, avec 539 figures dans le texte. Relié 23 fr.

Métallurgie du fer.

Manuel théorique et pratique de la métallurgie du fer. Introduction à la métallurgie du fer. La fonte et sa fabrication. Le fer malléable et sa fabrication, par A. LEDERUR, professeur de métallurgie à l'École des mines de Freiberg (Saxe), 2^e édition française traduite sur la 4^e édition allemande par BARBARY DE LANGLADE, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur civil des mines, maître de forges; revue et annotée par F. VARTON, ingénieur civil des mines, ancien chef de service des hauts fourneaux et aciéries de Terre-Noire. 2 volumes grand in-8°, avec 404 figures dans le texte, reliés 50 fr.

Electro-Sidérurgie.

L'Electro-sidérurgie. Fabrication électrique des fers, fontes et aciers par JEAN ESCARD ingénieur civil, ancien élève du Laboratoire central de la Société internationale des Electriciens. 1 volume in-8° avec 62 figures dans le texte. 5 fr.

Métallurgie de l'acier.

La métallurgie de l'acier. Classification et constitution de l'acier. Carbone et fer. Preuves de l'existence de deux modes de combinaisons du carbone et du fer. Effets



du carbone sur les propriétés physiques et mécaniques du fer. Trempe, tempérament et recuit, théorie de la trempe et du recuit. Fer et silicium. Fer et manganèse. Fer et soufre. Fer et phosphore. Influence du phosphore sur les propriétés physiques du fer. Chrome, tungstène, cuivre. Métaux ne se présentant que rarement dans le fer. Fer et oxygène. Fer et azote. Fer et hydrogène. Fer et oxyde de carbone. Absorption des gaz par le fer et leur développement. Des moyens d'éviter les soufflures et la cavité centrale. De la structure et de tout ce qui s'y rapporte. Etude microscopique des sections polies. Cassure. Changements de cristallisation, etc. Travail à froid, travail à chaud, soudure. Tréfilerie. Laminage et étirage à froid. Poinçonnage et cisailage. Procédés directs. Affinage au bas-four. Procédé au creuset. Chimie du procédé au creuset. Appareils relatifs aux procédés Bessemer. Aciers spéciaux. Enduits préserveurs de la feuille. Trempe au plomb, par HENRY MARION HOWE, professeur à Boston (Etats-Unis), traduit par OCTAVE HOCK, ingénieur aux usines à tubes de la Société Escaut et Meuse, à Anzin, ancien chef de service des Acieries d'Isbergues, 1 volume in-4°, avec de nombreuses figures dans le texte, relié. 75 fr.

Métallurgie : Cuivre, plomb, argent et or.

Traité théorique et pratique de métallurgie : Cuivre, plomb, argent et or. **CUIVRE** : Propriétés, minerais, extraction, purification, voie sèche, voie humide, voie électrométallurgique. **PLOMB** : Propriétés, minerais, *extraction du plomb* : 1° des minerais ; 2° de la galène ; 3° du sulfate du plomb ; 4° des produits métallurgiques plombifères. Raffinage du plomb. **ARGENT**. Propriétés, minerais, extraction, par voie sèche ou ignée, préparation du plomb d'œuvre, enrichissement de l'argent dans le plomb d'œuvre, traitement du plomb d'œuvre pour argent ou coupellation voie sèche et voie humide réunies, voie électrométallurgique, extraction par dissolution et précipitation. **Or**. Propriétés, minerais, *extraction* : 1° par préparation mécanique ; 2° par voie sèche ; 3° par voies sèche et humide réunies ; 4° par transformation en un alliage or mercure ; 5° par dissolution aqueuse ; 6° par voie électrométallurgique. Séparation de l'or des alliages. *Affinage*. Voie sèche, voie humide, voie électrométallurgique, par C. SCHNABEL, professeur de métallurgie et de chimie technologique à l'Académie des mines de Clausthal (Harz), traduit de l'allemand par le D^r L. GAUTIER, 2^e édition revue et augmentée, 1 volume grand in-8°, avec 757 figures dans le texte, relié. 45 fr.

Métallurgie : Zinc, mercure, étain, etc.

Traité théorique et pratique de métallurgie : zinc, cadmium, mercure, bismuth, étain, antimoine, arsenic, nickel, cobalt, platine, aluminium, par C. SCHNABEL, professeur de métallurgie et de chimie technologique à l'Académie des mines de Clausthal (Harz), traduit de l'allemand par le D^r L. GAUTIER, 1 volume grand in-8°, avec 373 figures dans le texte, relié. 30 fr.

Usines à zinc, plomb et argent.

Les usines à zinc, plomb et argent de la Belgique. Etude sur leurs conditions de salubrité intérieure, par AD. FIRKET, inspecteur général des mines, 1 volume in-8° avec figures 4 fr.

Métallurgie.

Album du cours de métallurgie professé à l'Ecole centrale des arts et manufactures, par JORDAN, ingénieur d'usines métallurgiques, professeur à l'Ecole centrale 1 atlas de 140 planches in-folio, cotées et à l'échelle, et 1 volume grand in-8° de texte. 80 fr.

Métallurgie.

Traité complet de métallurgie, comprenant l'art d'extraire les métaux de leurs minerais et de les adapter aux divers usages de l'industrie, par PERCY, professeur à l'Ecole des mines de Londres. Traduit avec l'autorisation et sous les auspices de l'auteur, avec introduction, notes et appendices, par A.-E. PETITGAND et A. RONNA, ingénieurs, 5 volumes grand in-8°, avec de nombreuses gravures. 75 fr.

On vend séparément :

- Tome I. Notions générales. Combustibles. 18 fr.
- II. Propriétés physiques et chimiques du fer 18 fr.
- III. Métallurgie de la Fonte. — Hauts fourneaux. *Epuisé.*
- IV. Métallurgie du fer. 18 fr.
- V. Métallurgie du cuivre et du zinc 18 fr.



Analyses des matériaux d'aciéries et des alliages.

Analyses des matériaux d'aciéries, analyse de l'acier, analyse des fontes, analyse des alliages métallurgiques, analyses rapides au fourneau, analyse des minerais, analyse des matériaux réfractaires, analyse des laitiers et scories, analyse des combustibles, analyse des eaux de générateurs, incrustations, etc. Analyse microscopique de l'acier. Pyrométrie, calorimétrie, données numériques, par HARRY BREARLEY et FRÉD. IDDOTSON, traduit de l'anglais et augmenté, par E. BAZIN, ingénieur chimiste métallurgiste, préface de G. ARTH, professeur de chimie industrielle, directeur de l'Institut chimique de la Faculté des sciences de Nancy. 1 volume grand in-8°, contenant 102 figures dans le texte, suivi d'un appendice. Relié 25 fr.

Guide du chimiste métallurgiste et de l'essayeur.

Guide pratique du chimiste métallurgiste et de l'essayeur, description des procédés suivis pour l'échantillonnage et l'analyse chimique des combustibles, des gaz, des matériaux réfractaires, des eaux industrielles, des minerais, métaux, alliages, laitiers, scories, produits métallurgiques divers, etc., par L. CAMPREDON, chimiste métallurgiste et G. CAMPREDON, chimiste, essayeur du commerce, avec une préface de M. P. MAHLER, ingénieur civil des mines. *Ouvrage honoré d'un prix de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*. 2^e édition revue, corrigée et augmentée. 1 volume in-8° avec nombreuses figures dans le texte. Relié 30 fr.

Manuel du chimiste métallurgiste.

Manuel de laboratoire pour le chimiste métallurgiste de l'industrie du fer, par MAX-ORTHEY. Traduit de l'allemand par Ad. JOUVE, ingénieur-conseil, ancien préparateur de chimie à l'École Polytechnique. 1 volume in-8° avec figures . . . 3 fr. 50

Manuel du chimiste métallurgiste.

Manuel du chimiste métallurgiste pour l'industrie des métaux autres que le fer, par H. NISSESSON, ingénieur diplômé et W. POHL, docteur ès sciences. Traduit de l'allemand par Ad. JOUVE, ingénieur-conseil, Directeur de la *Revue d'Electro-Chimie et d'Electro-Metallurgie*. 1 volume in-8°. 3 fr.

Manuel de Galvanoplastie.

Manuel pratique de Galvanoplastie par le Dr W. PFANHAUSER, ingénieur, traduit de l'allemand par Ad. JOUVE, ingénieur. 1 volume in-8° avec 33 figures dans le texte. 6 fr.

Analyse chimique minérale quantitative.

Précis d'analyse chimique quantitative des substances minérales, généralités, analyse volumétrique, analyse des gaz, analyse par électrolyse, analyse pondérale en exemples, applications et méthodes d'analyses spéciales, calcul des analyses, contrôle des poids et des appareils de mesure, tables pour le calcul des analyses pondérales, tables des principaux exemples mentionnés, des méthodes de dosage, de séparation, etc., par le Dr CARL FREIDHEIM, professeur de chimie minérale, analytique et industrielle à l'Université de Berne. Traduit d'après la 6^e édition allemande par le Dr L. GAUTIER. 1 volume in-8°, contenant 42 figures dans le texte. Relié 18 fr.

Métallurgie de la fonte.

Cours de métallurgie professé à l'École des Mines de Saint-Etienne. *Métallurgie de la fonte*. Métallurgie du fer, minerais de fer, traitement des minerais de fer, fabrication de la fonte, construction du haut fourneau, appareil de chargement, appareil à air chaud, conduite du haut fourneau, fontes spéciales, mauvaises allures, étude théorique de la marche, travail matériel, travail normal, dérangements, arrêts et mise hors de feu, installation et roulement des usines à fonte, emploi des fontes moulées, procédés de moulage, procédés de fusion, par URBAIN LE VERRIER, ingénieur des mines. 1 volume in-4°, avec 17 planches hors texte 18 fr.

Métallurgie.

Etat actuel de la métallurgie du fer dans le pays de Siegen (Prusse), notamment de la fabrication des fontes aciéreuses, par JORDAN. 1 volume in-8°, avec planches. 5 fr.



La métallurgie à l'Exposition de Dusseldorf.

La métallurgie à l'Exposition de Dusseldorf. Préparation des minerais, nouveaux appareils de préparation magnétique, fabrication du coke. Sidérurgie, fonderies et moulages d'acier. presses, marteaux et pièces de forges, par V. FINKAT, ingénieur au corps des mines. Répétiteur à l'Université de Liège. 1 volume in-8° avec 26 figures dont 12 planches 3 fr. 50

Métallurgie. Expériences de laboratoire.

Notes pour un laboratoire de métallurgie. Expériences pour un cours préparatoire de métallurgie. Pyrométrie et calorimétrie. Points de fusion des silicates. Propriétés des matériaux réfractaires. Fer et acier. Microstructure. Métaux autres que le fer. Or et argent, par HENRY M. HOWE, professeur de métallurgie à l'Université Columbia, à New-York, traduit avec autorisation de l'auteur, par L. de DONOFR, ingénieur des mines avec une préface de M. AL. FOURCEL, ingénieur métallurgiste. 1 volume in-8°, avec 44 figures dans le texte et une planche. 40 fr.

Le Radium.

Le radium, sa préparation, ses propriétés. Historique. Mesure de l'intensité du rayonnement des substances radioactives. Sels du radium, extraction, caractères, rayonnement, effets produits par le rayonnement. La radioactivité induite et l'émanation du radium. Propriétés de l'émanation du radium. Nature des phénomènes produits par les sels de radium, par J. DANNÉ, préparateur particulier de M. CURIE, avec une préface de M. CH. LAUTH, directeur de l'École de physique et de chimie industrielles de Paris. 1 volume in-8° avec 35 figures dans le texte. Relié . . . 4 fr.

Convertisseurs.

Les convertisseurs pour cuivre par P. JANNETAZ, ingénieur. Répétiteur à l'école centrale. 1 brochure grand in-8° contenant 23 figures dans le texte et 1 planche (*Extrait des mémoires et Comptes Rendus de la Société des ingénieurs civils*). 3 fr.

La crise industrielle Russe.

Contribution à l'étude de la crise industrielle du Donetz. Géologie de Krivoï-Rog et de Kertsch. production sidérurgique de la Russie méridionale, par J. CORDEWEENER ingénieur. 1 volume grand in-8°, contenant 19 planches hors texte et 4 cartes. Relié 10 fr.

Crise industrielle du plomb.

La crise de l'industrie française du plomb, par G. HYVERT, ingénieur et minéralogiste. 1 volume in-4°. 5 fr.

Technologie de l'antimoine.

Une ancienne mine d'antimoine dans le Limousin aurifère. Les *Aurifères*, le bassin alluvial de la Glane, les mines d'Estagnac, l'antimoine et ses minerais, fabrication des couleurs d'antimoine, alliages, métallurgie de l'antimoine par G. HYVERT. 1 vol. in-4°, contenant 6 planches hors texte. 4 fr.

Industries Electro-Chimiques.

Les industries électrochimiques. Traité pratique de la fabrication électrochimique des métalloïdes et de leurs composés, du chlore, des alcalis et des composés du chlore, de l'ozone de l'acide nitrique, des métaux alcalins et alcalino-terreux, des métaux usuels, du cuivre et du nickel électrolytiques, des métaux rares ou destinés à des usages spéciaux, des composés organiques par JEAN ESCARD, ingénieur civil, ancien élève du Laboratoire Central de la Société internationale des électriciens. 1 vol. in-8°, avec 332 figures dans le texte. Relié 25 fr.

Électrométallurgie.

Traité d'électrométallurgie. Magnésium, lithium, glucinium, sodium, potassium, calcium, aluminium, cerium, lanthane, didyme, cuivre, argent, or, zinc, cadmium, mercure, étain, plomb, bismuth, antimoine, chrome, manganèse, fer, nickel, cobalt.



platine, etc., par W. BORCHERS, professeur à l'école de métallurgie de Duisbourg, traduit d'après la deuxième édition allemande, par le Dr L. GAUTHIER. 1 volume grand in-8°, avec 198 figures dans le texte 25 fr.

Électro-Métallurgie.

Traité théorique et pratique d'électro-métallurgie. Galvanoplastie, analyses électrolytiques, électro-métallurgie par voie humide, méthodes électrolytiques, calculs des conducteurs, chauffage électrique, l'arc voltaïque et charbons électriques, travail électrique des métaux, les fours électriques; électro-métallurgie par voie sèche, méthodes électrolytiques et électro-thermiques, électro-thermie par ADOLPHE MINET, officier de l'instruction publique, fondateur de l'usine d'aluminium de *Saint-Michel-de-Maurienne*, directeur du journal *l'Electro-Chimie*. 1 volume grand in-8°, contenant 205 figures dans le texte. Relié. 20 fr.

Électro-Chimie.

Traité théorique et pratique d'électro-chimie. Constantes chimiques, mécaniques et électriques. Systèmes électrolytiques. Lois générales de l'électrolyse. Théorie de l'électrolyse. Traitement électrolytique des composés chimiques. Electrolyse appliquée à la chimie organique. Réaction chimique de l'étincelle et de l'effluve électriques, par ADOLPHE MINET, directeur du journal *l'Electro-Chimie*. 1 volume in-8°, contenant 206 figures dans le texte. Relié. 18 fr.

Galvanisation à froid.

La galvanisation à froid ou zingage électro-chimique, par L. QUivy, chimiste électricien. 1 brochure grand in-8° avec figures dans le texte 2 fr. 50

Galvanisation du fer.

N. B. Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines*, et se vendent, avec la livraison qui les renferme, au prix de 2 fr. la livraison.

Galvanisation à froid, système Cowper-Coles. Livr. de septembre 1894. 2 fr.

La galvanisation électrique ou zingage galvanique. Livraisons de juillet et août 1898. 4 fr.

Dosage de l'argent et de l'or.

Dosage, par la voie sèche, de l'argent et de l'or dans les minerais, par L. CAMPREDON, fondateur, et G. CAMPREDON, directeur du laboratoire métallurgique et industriel de Saint-Nazaire (Extrait de la *Revue Universelle des Mines et de la Métallurgie*). 1 volume in-8° contenant des figures dans le texte. 5 fr.

Voie humide. Cuivre, argent et or.

Extraction de cuivre, de l'argent et de l'or par la voie humide, par CH. DEFRANCE, ingénieur civil. 1 volume in-8°, avec 22 figures dans le texte, relié. 7 fr. 50

Métallographie.

Métallographie. Introduction à l'étude de la structure des métaux, principalement à l'aide du microscope. Polissage et attaque, le microscope, structure du fer. Fonte et gueuse, fer, acier, cuivre, bronze, laiton, maillechort, or, argent, alliages divers, par A.-H. HIGNON, directeur de l'école de métallurgie de Birmingham and midland institute. Traduit et augmenté par L. HAZIN, ingénieur chimiste diplômé. Avec une préface de A. Wencelius, chef de laboratoire des établissements de Neuves-Maisons. 1 volume in-8° contenant 96 figures dans le texte. Relié. 9 fr.

Sidérologie. I. Construction des alliages.

Éléments de sidérologie. Tome I : constitution des alliages de fer et des scories. Théorie des solutions. Micrographie. Composition chimique des alliages de fer. Composition chimique des scories, par HANS, BARON VON JUPNER, professeur à l'École des mines de Leoben, traduits de l'allemand par E. PONCELET et A. DELMER, ingénieurs. 1 volume in-8° avec 91 figures dans le texte. Relié. 18 fr.



Sidérologie. II. Traitement des alliages.

Éléments de sidérologie. Tome II. Influence du traitement thermique et mécanique des alliages de fer sur leur constitution. Les propriétés physiques des alliages de fer dans leurs relations avec la composition chimique, la texture morphologique et le traitement thermique et mécanique. Rapports entre la constitution, le travail et les propriétés mécaniques des alliages de fer, par HANS BARON VON JUPINER, professeur à l'École des Mines de Leoben. Traduits de l'allemand par E. PONCELET et A. DELMER, ingénieurs. 1 volume grand in-8° avec 87 figures dans le texte. Relié. . . . 20 fr.

Sidérologie. III. Procédés métallurgiques. Affinage.

Éléments de sidérologie. Tome III. Actions réciproques entre le fer et les différents éléments: *Procédés métallurgiques*. Procédé au haut fourneau et autres procédés les plus importants. *Procédés d'affinage*. Acier au creuset, refonte de la fonte, méthode de carlauration par HANS BARON VON JUPINER, professeur à l'École des mines de Leoben. Traduits de l'allemand par E. PONCELET et A. DELMER, ingénieurs. 1 vol. un grand in-8° avec 72 figures dans le texte et 20 planches hors-texte. Relié. 20 fr.

Alliages métalliques actuels et métallographie.

Les alliages métalliques actuels et leur métallographie. Des métaux. Propriété des alliages. Du laiton ou cuivre jaune. Du bronze. Essais de Kunzel. Alliages désoxidants. Laitons et bronzes désoxidés. Alliages d'aluminium. Alliage de nickel. Antifriction. Caractères d'imprimerie. Alliages fusibles. Alliages d'étain (*Poterie d'étain; métal anglais*). De la fonderie. Métallographie des alliages, par J. BECQUET, ingénieur civil (A. M. Aix). E. C. Paris, ex-fondeur constructeur, ex-directeur des fonderies de Romilly-sur-Andelle, etc. 1 vol. in-8° contenant 77 figures, dont 9 planches. 15 fr.

Alliages de cuivre et de zinc.

Recherches sur les alliages de cuivre et de zinc, par GEORGES CHARPY, ancien élève de l'École polytechnique, docteur ès sciences, avec 11 figures dans le texte, 4 planches en phototypie et de nombreux tableaux. Ce mémoire a paru dans la livraison de février 1896 du *Bulletin de la Société d'Encouragement*. Prix de la livraison. 5 fr.

Métaux ferreux.

Contribution à l'étude des relations qui existent entre les effets des sollicitations lentes et ceux des sollicitations vives dans le cas des métaux ferreux (barreaux fissés et barreaux entaillés), par P. BRETIL, chef de la section des métaux du laboratoire d'essais. 1 brochure in-8° 12 fr.
Mémoire N° 4 du Bulletin des Laboratoires d'essais.

Métallurgie du fer et de l'acier.

N. B Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines* et se vendent, avec la livraison qui les renferme, au prix de 2 fr. la livraison.
Transformations des procédés basiques de fabrication de l'acier pour rails. Méthodes d'essais par corrosion des rails d'acier. Livr. de novembre 1897. . . 2 fr.
Notices relatives à l'industrie du fer. Livraison d'août 1898. 2 fr.
La fabrication des planches d'acier en Angleterre et en Amérique, avec 4 planches. Livraisons de septembre et d'octobre 1898. 4 fr.
Appareils de fusion pour la fonte de fer, avec 2 planches. Livraisons de décembre 1898, janvier, février et mars 1899. 8 fr.
Les récents progrès de la métallurgie du fer et de l'acier, livr. de mars 1902. 2 fr.
Note sur la fabrication de l'acier « Thomas ». Livraisons d'août, septembre, octobre et novembre 1902. 8 fr.
Notes relatives à l'industrie de l'acier. Moulages d'acier et petits convertisseurs. Livraison de janvier 1903. 2 fr.
L'acier Thomas et sa fabrication. Description d'une aciérie Thomas et atelier de dolomie annexe d'une aciérie Thomas, avec 2 planches doubles. Livraisons de juin et juillet 1903. 4 fr.
Méthode Chartiée pour l'essai au choc des aciers laminés. Livraison de juillet 1903. 2 fr.
Fabrication du fer et de l'acier au four électrique. Livraisons de septembre, octobre, novembre et décembre 1904, et janvier 1905. 10 fr.



Métallurgie des métaux autres que le fer.

Métallurgie des métaux autres que le fer. Plomb, cuivre, nickel et cobalt, zinc, étain, antimoine, bismuth, mercure, argent, or, platine, aluminium. Cours professé à l'École des Mines de Saint-Etienne par U. LE VERRIER, ingénieur des mines, nouvelle édition, revue et augmentée. 1 volume in-4°, autographié avec 44 planches hors texte 18 fr.

Métaux autres que le fer.

Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines* et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr. la livraison.

Les progrès récents de la métallurgie, celle du fer excepté, par C. SCHNABEL. Livraisons de septembre et octobre 1898. 4 fr.

Préparation du chrome et du manganèse et production de très-hautes températures, procédé Goldschmidt. Livraisons d'avril et mai 1900. 4 fr.

L'état de la métallurgie, celle du fer excepté, à la fin du XIX^e siècle par SCHNABEL. Livraisons de juillet, août, septembre et octobre 1900. 8 fr.

Traitement des minerais d'or par cyanuration dans les usines de Witwatersrand (Transvaal), livraison de juin 1901. 2 fr.

Les progrès de la métallurgie, celle du fer exceptée, en 1899-1900. Livraisons de juillet, août, septembre et octobre 1901. 8 fr.

Extraction du cuivre et fabrication de l'acide sulfurique concentré sans chambre de plomb, procédés Sebillot et Wenmakers, avec 3 planches. livraison de novembre 1901. 2 fr.

Les récents progrès dans le travail chimique des métaux. Galvanoplastie et galvanostégie. Livraisons de mars et avril 1903. 4 fr.

Les progrès de la métallurgie, celle du fer exceptée, en 1901 et 1902. Livraisons d'octobre, novembre et décembre 1903, janvier, février et mars 1904. 12 fr.

Le raffinage électrolytique du cuivre aux Etats-Unis. Livraison de février, mars, avril et mai 1905. 8 fr.

Laverie des mines de zinc de Montoliou (Espagne). Livraison d'octobre 1905. 2 fr.

Les progrès de la métallurgie, celle du fer excepté en 1903, 1904 et 1905. Livraisons d'octobre, novembre et décembre 1906. 6 fr.

Trempe de l'acier.

L'acier à outils, manuel traitant de l'acier à outils en général, de la façon de le traiter au cours des opérations de forgeage, du recuit, de la trempe et des appareils employés à cet effet, à l'usage des métallurgistes, par OTTO THALLNER, ingénieur en chef, chef de la fabrication aux aciéries à outils de Bismarkhutte, traduit de l'allemand par ROSAMBERT, ingénieur des arts et manufactures, ancien ingénieur des aciéries Martin et au creuset de Resicza, chef de service aux aciéries de France, 1 volume in-8°. Relié. 8 fr.

Trempe de l'acier.

Théorie et pratique de la trempe de l'acier. Définition, classification, propriétés physiques et chimiques, dénomination des aciers, essais des aciers. trempe de l'acier, causes d'insuccès de la trempe, amélioration de l'acier altéré par le feu. soudage de l'acier, amélioration des pièces d'acier destinées aux machines et aux constructions, par FRIDOLIN REISER, directeur de l'aciérie de Kapfenberg, 2^e édition, traduite de l'allemand par BARBARY DE LANGLADE, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur civil des mines, maître de forges. 1 volume in-8°, relié 7 fr. 50

Presse à forger.

N. B. — Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines*, et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr. la livraison.

Presse hydraulique de 1 200 tonnes, système Breuer, Schumacher et C^{ie}, avec une planche. Livraison de septembre 1893. 2 fr.

Presse à forger de 8 000 tonnes, installée au Vickers Works Sheffield avec 2 planches. Livraison de décembre 1898. 2 fr.

Marteau-pilon.

Marteau-pilon de 80 tonnes et atelier de martelage des usines de Saint-Chamond, avec 1 planche. Ce mémoire a paru dans la livraison de janvier 1880 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison 2 fr.



Métallurgie des métaux autres que le fer.

Métallurgie des métaux autres que le fer. Plomb, cuivre, nickel et cobalt, zinc, étain, antimoine, bismuth, mercure, argent, or, platine, aluminium. Cours professé à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne par U. LE VERRIER, ingénieur des mines, nouvelle édition, revue et augmentée, 1 volume in-4°, autographié avec 4½ planches hors texte 18 fr.

Métaux autres que le fer.

Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines* et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr. la livraison.

Les progrès récents de la métallurgie, celle du fer excepté, par C. SCHNABEL. Livraisons de septembre et octobre 1898. 4 fr.

Préparation du chrome et du manganèse et production de très-hautes températures, procédé Goldschmidt. Livraisons d'avril et mai 1900. 4 fr.

L'état de la métallurgie, celle du fer excepté, à la fin du XIX^e siècle par SCHNABEL. Livraisons de juillet, août, septembre et octobre 1900. 8 fr.

Traitement des minerais d'or par cyanuration dans les usines de Witwatersrand (Transvaal), livraison de juin 1901. 2 fr.

Les progrès de la métallurgie, celle du fer exceptée, en 1899-1900. livraisons de juillet, août, septembre et octobre 1901. 8 fr.

Extraction du cuivre et fabrication de l'acide sulfurique concentré sans chambre de plomb, procédés Sebillot et Wenmakers, avec 3 planches. livraison de novembre 1901. 2 fr.

Les récents progrès dans le travail chimique des métaux. Galvanoplastie et galvanostégie. Livraisons de mars et avril 1903. 4 fr.

Les progrès de la métallurgie, celle du fer exceptée, en 1901 et 1902. Livraisons d'octobre, novembre et décembre 1903, janvier, février et mars 1904. 12 fr.

Le raffinage électrolytique du cuivre aux Etats-Unis. Livraison de février, mars, avril et mai 1905. 8 fr.

Laverie des mines de zinc de Montoliu (Espagne). Livraison d'octobre 1905. 2 fr.

Les progrès de la métallurgie, celle du fer excepté en 1903, 1904 et 1905. Livraisons d'octobre, novembre et décembre 1906. 6 fr.

Trempe de l'acier.

L'acier à outils, manuel traitant de l'acier à outils en général, de la façon de le traiter au cours des opérations de forgeage, du recuit, de la trempe et des appareils employés à cet effet, à l'usage des métallurgistes, par OTTO THALNER, ingénieur en chef, chef de la fabrication aux aciéries à outils de Bismarkhütte, traduit de l'allemand par ROSAMBERT, ingénieur des arts et manufactures, ancien ingénieur des aciéries Martin et au creuset de Resicza, chef de service aux aciéries de France, 1 volume in-8°. Relié. 8 fr.

Trempe de l'acier.

Théorie et pratique de la trempe de l'acier. Définition, classification, propriétés physiques et chimiques, dénomination des aciers, essais des aciers, trempe de l'acier, causes d'insuccès de la trempe, amélioration de l'acier altéré par le feu, soudage de l'acier, amélioration des pièces d'acier destinées aux machines et aux constructions, par FRIDOLIN REISER, directeur de l'aciérie de Kapfenberg, 2^e édition, traduite de l'allemand par BARBARY DE LANGLADE, ancien élève de l'Ecole polytechnique, ingénieur civil des mines, maître de forges. 1 volume in-8°, relié 7 fr. 50

Presse à forger.

N. B. — Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines*, et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr. la livraison.

Presse hydraulique de 1 200 tonnes, système Breuer, Schumacher et C^{ie}, avec une planche. Livraison de septembre 1893. 2 fr.

Presse à forger de 8 000 tonnes, installée au Vickers Works Sheffield avec 2 planches. Livraison de décembre 1898. 2 fr.

Marteau-pilon.

Marteau-pilon de 80 tonnes et atelier de martelage des usines de Saint-Chamond, avec 1 planche. Ce mémoire a paru dans la livraison de janvier 1880 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison 2 fr.



Fabrication des bandages de roues.

Laminoir à bandages de M. Munton; grue-enclume et table de forge à lingots de M. Kennedy, avec 2 planches. Ce mémoire a paru dans la livraison de mai 1892 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison 2 fr.

Fabrication des poutrelles en fers I.

Sur les conditions techniques et économiques actuelles de la fabrication des poutrelles ou fers I en Belgique : le minerai et le charbon étant pris comme points de départ, par H. WOLLERS. 1 volume in-8° avec 2 planches 6 fr.

Fabrication des tuyaux.

Les tuyaux en fonte frettés d'acier, de la Société de Pont-à-Mousson. Ce mémoire a paru dans la livraison de mars 1901 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison 2 fr.

Fabrication des roues en fonte.

N. B. — Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines* et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr. la livraison.

Fabrication des roues en fonte coulées en coquille, avec 1 planche. Livraison de décembre 1882. 2 fr.

Fabrication des roues en fonte trempée. Livraison de février 1896. 2 fr.

Pesage des lingots d'acier pendant la coulée.

Pesage des lingots d'acier pendant la coulée, avec 1 planche. Ce mémoire a paru dans la livraison de juillet 1881 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison 2 fr.

Préparation des minerais.

Traité pratique de la préparation des minerais, manuel à l'usage des praticiens et des ingénieurs des mines, par C. LINKENBACH, ingénieur des usines à plomb argentifère d'Ems, traduit de l'allemand par H. COURTOT, ingénieur des mines. 1 vol. grand in-8° avec 24 planches. Relié 30 fr.

Grillage des minerais.

Traité théorique des procédés métallurgiques de grillage, par PLATTNER (traduit de l'allemand), annoté et augmenté, par ALPHONSE FÉTIS. 1 volume in-8° avec planches. 12 fr.

Laminage du fer et de l'acier.

Traité théorique et pratique du laminage du fer et de l'acier, par LÉON GEIZE, ingénieur principal à la Société anonyme des forges et aciéries du Nord et de l'Est, à Valenciennes. 1 volume grand in-8° et 1 atlas de 81 planches. Relié. Prix. 25 fr.

Laminoir.

Laminoir et four à réchauffer pour la fabrication des plaques de blindages, installés aux Vickers Works, à Sheffield; avec 2 planches. Ce mémoire a paru dans la livraison de juillet 1899 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison. 2 fr.

Hauts fourneaux.

Construction et conduite des hauts fourneaux et fabrication des diverses fontes, par A. DE VATHAIRE, ancien directeur des hauts fourneaux de Bessèges, Saint-Louis, Marival, Forges de Champagne et Balaruc. 1 volume grand in-8°, et 1 atlas in-4° de 16 planches. 18 fr.

Utilisation des gaz des hauts fourneaux.

De l'utilisation directe des gaz des hauts fourneaux pour la production de la force motrice, par H. HUBERT, ingénieur en chef des Mines, chargé de cours à l'Université



de Liège (*Extrait du Congrès international des mines et de la métallurgie, tenu à Paris en 1900*). 1 brochure grand in-8° 2 fr. 50

Influence des cendres sur la valeur des coques.

De l'influence des cendres et de l'humidité sur la valeur métallurgique des coques de hauts fourneaux. par CH. ROSAMBERT, ingénieur des arts et manufactures. 1 brochure in-8°. 1 fr. 50
Extrait du *Bulletin de l'Industrie minière de Saint-Étienne*.

Pyromètres.

N. B. — Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines* et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr. la livraison.

Appareils pour la mesure des hautes températures. Descriptions des pyromètres Siemens, Tremeschini, Trampler, Decomet, Saintignon, Amagat, Boulier frères, avec 1 planche. Livraison d'avril 1884 2 fr.

Les pyromètres et la mesure des températures élevées. Livraison de janvier 1896 2 fr.

Nouveau pyromètre optique pour la mesure des hautes températures. Livraison de mai 1902 2 fr.

Pyromètre.

Pyromètre actinométrique, par LATARCHE. 1 brochure grand in-8°. 1 fr.

Régulateurs de température.

Régulateurs de température système Dorian, avec 2 planches. Cette étude a paru dans la livraison de septembre 1899 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison 2 fr.

Manuel du fondeur.

Manuel du fondeur-mouleur en fer. Études : 1° sur les fontes de moulage; analyses et mélanges; alliages industriels des bronzes; 2° l'installation et le matériel complet d'une fonderie de moyenne importance, pour moulages en pièces mécaniques et diverses; 3° le moulage en terre; le moulage au trousseau ordinaire et à excentrique; 5° le moulage en fonte trempée, fabrication, etc.; 6° le moulage d'acier coulé. Le moulage et tracé des hélices de bateaux, turbines, engrenages et vains globiques. La fabrication des projectiles, tuyaux, etc., par E. MOLEBAT, chef fondeur-mouleur, 3^e édition. 1 vol. grand in-8°, avec 94 planches 13 fr.

Fonderie de cuivre actuelle.

La fonderie de cuivre actuelle. I. MÉTAUX ET ALLIAGES. Cuivre, métaux autres que le cuivre. Laitons, bronzes, laitons et bronzes désoxydés. II. MODÈLES ET PROCÉDÉS DE MOULAGE. Modèles. Salles et matériel de moulage. Outils et procédés de moulage. Machines à mouler et à démouler. Moulage en cire perdue des cloches, etc., etc. III. FONDERIE. Eluves et outils du fondeur. Des fours. Machines diverses par J. BUCCHETTI, ingénieur civil, ex-fondeur constructeur, ex-directeur des fonderies de Romilly-sur-Andelle, ex professeur suppléant à l'École centrale de Paris. 1 volume grand in-8° contenant 180 figures et 1 atlas cartonné de 20 planches 30 fr.

L'Art du mouleur.

L'art du mouleur. Manuel pratique. Moulage des pièces dans le sable humide, confection des divers types de moules, disposition des coulées, canaux de dégagement des gaz, fabrication des petits noyaux. Moulage en sable séché. Moulage en terre et noyaux. Vocabulaire technique des termes employés chez les mouleurs. par A. TESSON, ancien chef d'atelier de fonderie, ancien élève des Écoles nationales d'arts et métiers. 1 vol. grand in-8°, avec 286 figures dans le texte. Relié. 20 fr.

Machines à mouler actuelles.

Les machines à mouler actuelles. Machines à démouler actionnées à la main et hydrauliquement. Machines à démouler : 1° les poteries; 2° les tuyaux à ailettes. Machine à démouler avec planche-peigne. Compression du sable. Machines à mouler



actionnées à la main. Machines à compression par piston. Machines à piston à plaque rotative. Machines systèmes Saillot, Bonvillain et Leeder. Machines à compression. Machine à mouler les noyaux, par P. AVAUBERT, ancien directeur de fonderies, professeur à l'École d'arts et métiers, à Lille. 1 volume in-8° avec 123 figures dans le texte et 3 planches hors texte 4 fr. 50

Machines à mouler.

N. B. — Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines* et se vendent avec la livraison qui les renferme, au prix de 2 fr. la livraison.

Machine à mouler Schold et Neff, avec 1 planche. Livraison d'avril 1884. 2 fr.
Machines à mouler, avec 2 planches. Livraisons de juin et de juillet 1898. 4 fr.
Machines à mouler les tuyaux cintrés, avec une planche. Livraison de novembre 1904. 2 fr.

Moulage du fer.

Traité du moulage en fer, propriétés physiques, électriques et chimiques du fer, alliages des fers, traitement des minerais. Fonderie, sablerie, etc., par J. MAILFERT, membre de plusieurs Sociétés savantes. 1 volume in-12. 6 fr.

Moulage de l'acier.

Fabrication des vousoirs en acier moulé du pont Alexandre III à Paris, avec 2 planches. Ce mémoire a paru dans la livraison de mars 1900 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison 2 fr.

Emploi de l'acier moulé.

Emploi de l'acier moulé pour la confection de différents organes de machines à vapeur et particulièrement des locomotives, avec 1 planche. Ce mémoire a paru dans la livraison de mai 1893 du *Portefeuille des Machines*. Prix de la livraison 2 fr.

L'acier dans les constructions.

De l'emploi de l'acier dans les constructions navales, civiles et mécaniques par PÉRISSÉ. 1 volume grand in-8° 3 fr.

Métallurgie de l'aluminium.

Note sur la métallurgie de l'aluminium et sur ses applications, par U. LE VERRIER, ingénieur en chef des mines, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers. 1 brochure grand in-8°. 2 fr. 50

Métallurgie du nickel.

Nouveau procédé pour le traitement des minerais de nickel système MOMB, avec 2 planches. Livraison de novembre 1899 du *Portefeuille des Machines*. 2 fr.

Aluminium et nickel.

L'aluminium et le nickel. Conférence faite devant l'Association française pour l'avancement des sciences, par JULES GARNIER. 1 brochure in-8°. 2 fr. 50

Essais de torsion.

Les essais de torsion considérés comme moyens de sélection des métaux. Relations entre la torsion et la traction par P. BREUIL, chef de la section des métaux du Laboratoire d'essais. 1 brochure in-8° avec une planche hors texte. 4 fr. 75

