



en brique ou pierre, puis s'élevait, par une série de tuyaux ou briques creuses établies le long des parois. Au moyen âge, nous voyons deux genres de chauffage : le brasero, souvent monté sur des roues permettant de le déplacer d'une pièce dans l'autre, idée première de nos poêles mobiles, et la cheminée proprement dite, qui, pendant longtemps, ne s'est composée que des jambages, de la hotte et du conduit de fumée. Mais l'étude des conditions les plus convenables pour l'établissement des cheminées ou foyers ouverts ne commence qu'avec l'emploi de la houille. La fumée du bois n'était pas agréable, mais se supportait — trop souvent, — tandis que la fumée de la houille étant absolument intolérable, on dut chercher les moyens de l'éviter.

Les premières recherches pour perfectionner les cheminées datent de l'ouvrage de Gauger, publié en 1723 et de la *Camino-logie* du moine Hébrard, en 1756. Leur but était surtout d'éviter la fumée.

La première cheminée connue comme cherchant à utiliser la chaleur de l'air échauffé à la partie externe du foyer et par les conduits de fumée est celle que Savot installa au Louvre vers 1624. Franklin, en Amérique, exerça son esprit ingénieux à perfectionner les cheminées et publia, en 1744, une brochure à ce sujet. Successivement nous voyons les systèmes préconisés par Montalembert, Rumford, Bronzac, Curandean, d'Arcet, Pécelet ; enfin, de notre temps, un grand nombre d'inventeurs ont établi des modèles utilisant la chaleur perdue auparavant et cherchent à relever le rendement utile des cheminées ou à éviter la fumée en remédiant aux vices de construction des cheminées généralement mal établies, en raison du manque de proportion entre les diverses parties qui les constituent.

Les poêles ont été connus, en France, seulement vers le XVII^e siècle. Ils étaient cependant répandus dans les pays froids qui, ayant besoin de mieux utiliser la chaleur, les avaient adoptés avant nous. Bien qu'ils soient plus faciles à établir dans des conditions avantageuses de fonctionnement, ils doivent cependant,



pour arriver à un rendement convenable, être construits suivant certaines règles dont on ne tient généralement pas assez compte. Comme les cheminées, les poêles n'ont été étudiés que depuis peu d'années au point de vue du meilleur rendement à en obtenir.

Ainsi qu'en toutes choses, les appareils de chauffage ont été établis empiriquement d'abord ; puis, par tâtonnements successifs, on a créé des modèles utilisant de mieux en mieux les combustibles employés.

Comme nous le disions plus haut, il n'y a pas longtemps que l'on a compris que l'appareil de chauffage devait être également un moyen de ventilation. Ce n'est que depuis cinquante ans que les ingénieurs, traitant la question scientifiquement, sont arrivés à établir des appareils de chauffage répondant aux desiderata de la question.

Un appareil de chauffage doit, autant que possible, remplir les conditions suivantes :

1° Maintenir dans les appartements à chauffer une température constante dans tous les points, quelle que soit la température extérieure.

2° Ventiler les pièces chauffées, c'est-à-dire entraîner au dehors l'air vicié par la respiration et les émanations diverses des locaux habités.

La ventilation doit avoir lieu sans créer de courants d'air sensibles comme ceux qui se produisent ordinairement par les défauts de fermeture des portes et des fenêtres. Pour cela, il faut renouveler l'atmosphère ambiante au moyen d'air pur pris au dehors, chauffer cet air à la température convenable sans l'altérer, avant de l'introduire dans les pièces dont il faut élever la température et l'expulser lorsqu'il a produit son effet, au moyen des appareils de chauffage, par exemple.

3° Produire ces résultats avec le minimum de combustible.

Il est bien entendu qu'il ne doit pas être question de fumée.

L'air peut être chauffé par rayonnement ou par contact avec le combustible, ou avec une surface en métal ou en terre cuite



qui elle-même est élevée à une température convenable, soit par chauffage direct, soit par circulation d'air très chaud, d'eau ou de vapeur. Nous allons étudier les divers moyens dont on dispose actuellement en suivant la classification de Pécelet et en insistant surtout sur les appareils qui permettent l'emploi de la houille et du coke.

1° *Chauffage direct par la combustion.* — C'est le procédé primitif dont nous parlions plus haut : le brasero ; il ne ventile pas, répand de la fumée ou au moins de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone ; nous n'avons pas à nous en occuper.

2° *Chauffage par le rayonnement du combustible obtenu au moyen des cheminées proprement dites.* — Ce mode de chauffage est certainement le plus imparfait de tous. On prétend que les cheminées ventilent bien en raison du renouvellement de l'air ; cela est vrai, mais elles ventilent trop.

Le kilogramme de bois exige au moins 60 mètres cubes d'air pour sa combustion, c'est-à-dire qu'il faut appeler du dehors ce cube d'air. Et comme cet appel se produit en général par les interstices des portes et des fenêtres, le courant d'air vient refroidir le dos des habitants en enlevant tout l'air échauffé par le rayonnement au fur et à mesure qu'il se produit, pendant que le devant du corps est brûlé par la chaleur rayonnante du foyer ; de sorte que si, dans une salle chauffée par ce système, on respire de l'air pur, on est exposé aux bronchites et aux névralgies.

En outre, au point de vue économique, comme la chaleur rayonnante est de 25 pour 100 pour le bois et 55 pour 100 pour la houille et le coke (pour 100 de la chaleur totale développée), et que l'on n'en utilise dans les bonnes cheminées que le quart au plus, le résultat net est une utilisation de 5 à 6 pour 100 avec le bois et 10 à 12 pour 100 avec la houille et le coke. Il est vrai qu'on a le plaisir de *voir le feu chauffer la cheminée* ; on a également la satisfaction de brûler la semelle de ses chaussures. Les belles et vastes cheminées du moyen âge ne donnaient même pas un rendement aussi élevé et avaient en outre généralement l'avantage de fumer, avantage incontestable pour obtenir rapidement les pitto-

resques colorations brunes des poutres en saillie des plafonds, mais peu prisé à notre époque. Ce fut Rumford qui, par ses expériences, commença à faire construire des cheminées plus avantageuses. Il conseillait de ramener le feu en avant pour réduire la profondeur du foyer et de faciliter le rayonnement en évasant les côtés de la cheminée garnis de matériaux réfléchissant la chaleur, tels que le plâtre et mieux la faïence blanche.

Pour éviter d'introduire de l'air froid, on a bien proposé de puiser l'air nécessaire dans des pièces ou corridors chauffés par des calorifères ; mais ce moyen n'est pas à la portée de tout le monde et le type des appareils de la troisième classe satisfait mieux aux desiderata de ce mode de chauffage.

3° *Cheminées-poêles*. — Ce type d'appareils chauffe l'air de la pièce à la fois par rayonnement et par contact avec les parois du foyer où s'opère la combustion et avec celles des conduits de fumée. C'est ce système qui, bien proportionné, répond le mieux, selon nous, aux conditions d'un chauffage agréable, sain et économique. Les divers perfectionnements apportés successivement aux anciennes cheminées constituaient un acheminement vers ce modèle d'appareils.

Nous avons vu que Rumford avait étudié les meilleures proportions à donner aux cheminées et qu'il avait à la fois diminué la profondeur de la cheminée et la section de l'ouverture tout en évasant son entrée. Millet réglait l'ouverture d'entrée de l'air sur le foyer au moyen d'un tablier à coulisse, comme dans la cheminée Bronzac¹ ; mais en outre, au fond de la cheminée, il ménageait une ouverture que l'on augmente ou diminue à volonté par une trappe. Pécelet construisit une cheminée suivant les mêmes idées. Puis vint l'idée de la bouche de chaleur : ce fut un pas décisif pour atteindre la cheminée-poêle moderne proprement dite. A cette idée se rattachent les foyers Joly, Fondet, Cordier, Mousseron (fig. 14), dans lesquels la chaleur qui traverse les parois du foyer chauffe de l'air

1. Le tablier mobile en tôle a été inventé par Lhomond.

pris au dehors, séjourne dans une chambre de chaleur ou espace vide situé autour du foyer et s'échappe par des ouvertures grillagées situées en général aux côtés de la cheminée. Quelquefois les constructeurs obligent cet air à traverser des tubes en fonte formant le fond du foyer et autour desquels circule la flamme, ou bien ils augmentent la surface d'échauffement en ondulant le fond du foyer ou en le garnissant d'ailettes.

L'utilisation est bonne dans ces foyers, mais il faut avoir soin de n'en jamais chauffer trop fortement les parois si elles sont en

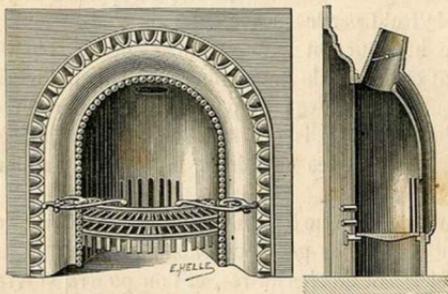


Fig. 14. — Grille et cheminée anglaise.

fonte, sous peine de produire de l'oxyde de carbone qui s'échappe dans les appartements par les bouches de chaleur. Pour éviter cet inconvénient, le meilleur moyen consiste à garnir intérieurement le foyer de plaques en terre réfractaire.

Le maximum d'utilisation est obtenu lorsque l'air, au lieu de s'échapper par les bouches de chaleur, continue à s'échauffer, en s'élevant autour du conduit de fumée, et ne pénètre dans l'appartement à chauffer qu'au niveau du plafond. Dans ce cas, la cheminée devient un appareil parfaitement rationnel et à rendement élevé en même temps qu'il produit une excellente ventilation. En effet, l'air froid appelé du dehors s'échauffe autour du foyer et du conduit de fumée et, s'élevant au niveau du plafond, pénètre dans la pièce

à chauffer; il y rencontre le plafond relativement froid, se répand en nappes qui s'étendent jusqu'à l'extrémité de la pièce et se refroidissent peu à peu en descendant; finalement, il entraîne l'air vicié par la respiration, parvient à la cheminée, où il alimente la combustion et est évacué au dehors.

Le général Morin, dans son *Traité de chauffage et de ventilation*, dit de ce genre d'appareils :

« L'observation montre qu'avec les proportions indiquées plus loin, le volume de l'air introduit ainsi à 33° diffère peu de celui qui est évacué par la cheminée, ce qui supprime à peu près les rentrées d'air froid par les portes.

« Cette introduction d'air chaud, jointe au chauffage par le rayonnement ordinaire de la cheminée, augmente de beaucoup son effet calorique, qui s'élève à 35 pour 100 de la chaleur développée par le combustible, tandis que les cheminées ordinaires n'en utilisent que 12 à 14 et les cheminées munies de l'appareil Fondet 20 environ.

« Toutes les fois que les conditions de la construction permettront l'installation de ce genre de cheminée, il est évident qu'on devra le préférer à tous les autres, et l'on pourra suivre pour leur construction les proportions ci-après. »

CAPACITÉ des PIÈCES à chauffer.	VOLUME D'AIR à ÉVACUER et à introduire par heure.	SECTION du CONDUIT de fumée.	AIRE de PASSAGE de la mitre.	SECTION TOTALE de la gaine de passage de l'air nouveau.
Mètres cubes.	Mètres cubes.	Mètres carrés.	Mètres carrés.	Mètres carrés.
100	500	0,050	0,025	0,140
120	600	0,060	0,030	0,168
150	750	0,075	0,038	0,210
180	900	0,090	0,045	0,252
220	1100	0,110	0,055	0,308
260	1300	0,130	0,065	0,364
300	1500	0,150	0,075	0,420

Les cheminées dites à la prussienne et celles de Désarnod rentrent dans la catégorie des cheminées-poêles, puisqu'elles chauffent par rayonnement et par contact des parois. On peut, en général, leur reprocher que les parois qui entourent le foyer sont en fonte, et que quand ce dernier rougit, elles produisent de l'oxyde de carbone et deviennent malsaines. Il vaut mieux dans ce cas adopter les types modernes de cheminées-poêles à combustion lente, dans lesquelles la température ne s'élève jamais assez pour décomposer l'air.

Aujourd'hui, nous voyons des modèles de foyers ouverts à ventilation rendre jusqu'à 82 pour 100 de la chaleur développée par le combustible : appareils Bourdon, Geneste et Herscher, Godin, Reveilhac, etc. (Concours des appareils de chauffage du 11 janvier 1888, à Bruxelles.)

Les proportions essentielles d'une cheminée sont données par les chiffres du tableau ci-dessus ; quant aux dimensions des autres parties qui constituent le corps de la cheminée et comprenant l'âtre, le foyer, le contre-cœur, les jambages et le manteau, elles sont plutôt une question d'architecture et de goût. Les sections des conduits de fumée indiquées au tableau précité correspondent à des pièces de poteries fabriquées couramment aujourd'hui.

D'après des expériences soigneusement faites, les proportions de charbon nécessaires pour maintenir une même salle à la même température, pendant le même temps, sont : 100 pour les cheminées ordinaires, 13 pour les poêles métalliques et 13 à 16 pour les cheminées-poêles.

Les appareils nouveaux à combustion lente dont nous parlions plus haut utilisent même encore mieux la chaleur produite.

4° *Poêles.* — Le chauffage par les poêles est celui qui peut être considéré comme le plus économique ; mais, en revanche, on lui reproche divers inconvénients : le chauffage par ce système est moins gai que par les cheminées où l'on voit le feu. Si les proportions sont mauvaises ou la construction défectueuse, la ventilation produite n'est pas suffisante. Si les parois s'échauffent trop, l'air



est vicié; il y a donc lieu ici également de tenir compte des diverses conditions d'installation.

Leur plus grand défaut consiste en ce qu'en chauffant fortement l'air d'une salle, ils ne le dessèchent pas, comme on le dit souvent à tort; mais ils en élèvent la température assez pour accroître considérablement son pouvoir absorbant qui s'exerce en enlevant l'eau à tous les corps humides enveloppés par lui, y compris les habitants. On y remédie en plaçant des vases contenant de l'eau dans le voisinage des poêles.

D'après les expériences de Pécelet, on peut admettre que la quantité de chaleur qui passe à travers les parois d'un tuyau chauffé intérieurement est proportionnelle à la différence des températures intérieures et extérieures; il résulte qu'un mètre carré de surface laisse passer en une heure, pour une différence de température de 1° : 3,93 unités de chaleur pour la tôle, 9,9 unités pour la fonte et 3,85 unités pour la terre cuite de $0^{\text{m}},01$ d'épaisseur.

Si donc on admet que la fumée ou plutôt les gaz de la combustion (que l'on peut faire en sorte de ne laisser sortir du tuyau de cheminée qu'à 100° , et qui sont à 800° environ au-dessus du foyer) sont à une température moyenne de 500° au-dessus de l'air chauffé, on aura une quantité de chaleur traversant chaque mètre carré de tôle égale à 1965 unités, 4950 pour la fonte et 1925 unités pour la terre cuite.

On pourrait ainsi calculer la surface de chauffe nécessaire pour un appartement de dimensions données. On admet souvent qu'un mètre carré de surface de chauffe suffit pour chauffer 100 mètres cubes; cependant les quantités de chaleur qui traversent les parois variant avec leur nature, comme nous venons de le voir, le chiffre indiqué ci-dessus est beaucoup trop vague, et, si on l'admettait aveuglément, on pourrait s'exposer à se voir grillé ou gelé.

Comme nous l'avons déjà dit, les poêles ont été employés tout d'abord dans les pays froids en raison du meilleur rendement qu'ils fournissent.

Un des premiers poêles dont on ait parlé est celui de Dalesme, inventé vers 1686 ; il était disposé suivant un principe qui a été souvent appliqué depuis. La combustion avait lieu de haut en bas. L'Allemand Leutmann en fit une contrefaçon. Franklin essaya aussi de perfectionner ces appareils, et successivement beaucoup d'inventeurs présentèrent des modèles nouveaux ; aujourd'hui il existe un très grand nombre de dispositifs plus ou moins avantageux. On peut classer tous les poêles dans deux catégories distinctes :

1° Les poêles à alimentation intermittente, les uns métalliques, les autres en poterie, terre réfractaire ou grès ;

2° Les poêles à alimentation continue, d'invention toute moderne.

1° *Poêles à alimentation intermittente.* — Ce sont les poêles les plus simples, mais aussi les moins avantageux. Ceux qui sont en fonte laissent passer rapidement la chaleur et, comme nous l'avons vu d'après les expériences de Pécelet, la plus grande partie de la chaleur. Leur rendement est donc très bon ; mais, d'autre part, ils ont l'inconvénient de brûler les poussières organiques en suspension dans l'air, de dessécher (nous savons le sens qu'il faut attribuer à ce mot) l'air des appartements où ils sont placés à cause de la température trop élevée des parois, enfin, d'altérer chimiquement l'air qui les environne et même de laisser passer à travers la fonte de l'oxyde de carbone, qui occasionne quelquefois des malaises.

Ces appareils ne doivent donc pas être considérés comme des appareils de chauffage pratiques, malgré leur économie.

Les poêles à alimentation intermittente, construits en poterie ou en pierre, sont moins rapidement traversés par la chaleur ; mais leur masse surtout dans les poêles dits allemands ou suédois, qui atteignent souvent des proportions monumentales, sert de magasin de chaleur. En outre, la température des parois ne s'élève pas à un degré suffisant pour brûler les poussières en suspension ; généralement les pièces du foyer sont en fonte ou en gros blocs réfractaires ; comme la quantité de chaleur qui traverse les parois en un temps donné est beaucoup moins grande qu'avec la fonte, il est

nécessaire d'augmenter proportionnellement la surface extérieure.

Souvent les parois sont creuses et disposées pour que l'air y circule, ce qui revient à multiplier les surfaces. Les foyers sont disposés selon les cas pour brûler du bois, de la houille, du coke et de l'antracite.

2° *Poêles à alimentation continue.*

— Les perfectionnements successivement réalisés ont aujourd'hui amené les constructeurs à obtenir un résultat avantageux que l'on ne prévoyait pas tout d'abord : ces poêles permettent la combustion lente, c'est-à-dire qu'ils ne chauffent l'air qu'avec un foyer, maintenu extérieurement à aussi basse température que possible (ce qui ne l'altère pas) et, en outre, ils entretiennent un chauffage constant, continu et qui ne demande pas de surveillance.

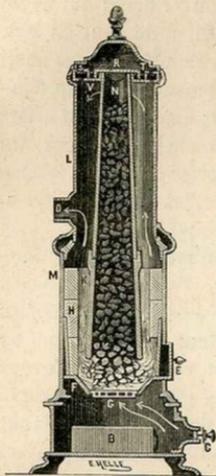


Fig. 15.
Poêle en fonte Phénix.

- A, Foyer.
- B, Cendrier.
- C, Registre réglant l'arrivée de l'air.
- D, Coke emmagasiné.
- E, Porte de nettoyage.
- F, Couronne fonte.
- G, Grille.
- H, Enveloppe en terre réfractaire.
- K, Passage de flamme.
- L, Enveloppe en fonte.
- M, Socle en fonte.
- N, Ouverture par laquelle on remplit le magasin.
- R, Couvercle en fonte reposant dans une rigole ST pleine de sable fin. — Sortie des produits de la combustion à laquelle s'adapte le tuyau de tirage.

Tous ces appareils comportent un magasin, dans lequel le combustible déposé descend au fur et à mesure de la consommation. La combustion ayant lieu à basse température, il ne se forme pas de scories dures, mais des cendres qui tombent facilement dans le cendrier. D'un autre côté, pour que le combustible descende régulièrement, il ne faut pas qu'il soit collant ; par conséquent, on ne devra y brûler que du coke ou de l'antracite. Les nombreux inventeurs ont cherché à rendre l'appareil facile à charger, à augmenter la capacité du magasin, à disposer des grilles

commodes à nettoyer et à régler facilement la combustion.

Parmi les plus recommandables, nous pouvons citer les poêles de Geneste et Herscher, Henschel, Meidinger, Martin, Delaroché, etc. Nous donnons ci-contre la coupe d'un poêle genre Phénix (fig. 15), qui fera comprendre les dispositions généralement adoptées.

Les dimensions sont proportionnées au cube des appartements à chauffer. Mais en tout cas on peut admettre généralement qu'avec ces appareils une consommation de 3 litres de coke à l'heure suffit à maintenir 350 mètres cubes d'un appartement, à une température de 15°.

La douceur et la régularité du chauffage obtenues avec ces appareils en raison de la lenteur, de la combustion et l'économie qu'ils procurent, donnèrent l'idée de les employer dans des locaux où jusqu'ici on n'avait utilisé que les cheminées.

Mais pour faciliter la suppression du chauffage lorsque la température désirée est atteinte et pour répondre aux craintes que fait naître

le séjour d'un poêle dans certaines chambres, on les rendit mobiles; de là le nombre considérable des poêles à roulettes qui ont été créés ces dernières années et leur succès. Ces appareils, qui dérivent tous du poêle à alimentation continue et à combustion lente, donnent pour quelques types un rendement atteignant 96 pour 100. (Concours des appareils de chauffage du 11 janvier 1888, à Bruxelles.)

Parmi les plus recommandables et les plus connus, on peut citer les poêles: Courtot, Godin, Reveilhac, Boucher, Choubersky (fig. 16), Collot, Delaroché, etc. Tous reposent sur les mêmes principes; des détails d'ornementation et des perfectionnements

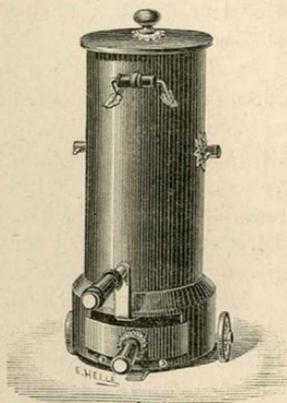


Fig. 16. — Poêle Choubersky.

divers, qui en facilitent les manœuvres et les enjolivent, en ont fait un appareil de chauffage des plus pratiques et des plus économiques, bien qu'ils ne présentent pas les avantages des cheminées-poêles dont nous avons parlé.

Il est bien entendu qu'il faut toujours avoir le soin de faire évacuer les produits de la combustion par une cheminée et d'avoir un vase contenant de l'eau, disposé dans leur voisinage pour que la chaleur du poêle ne dessèche pas trop l'air du local où il est placé.

Calorifères. — Les calorifères sont des appareils destinés à produire de la chaleur, qu'on utilise dans un ou plusieurs locaux plus ou moins éloignés du lieu où ils sont placés. Tout calorifère comprendra donc un foyer générateur de chaleur, avec sa grille et ses conduits de fumée, des enveloppes et des surfaces de transmission de la chaleur, destinées à chauffer directement ou indirectement l'air des locaux désignés. En général, cet air doit être pris en dehors desdits locaux.

On doit distinguer deux classes de calorifères, selon que l'air est chauffé directement au contact des parois du foyer et des conduits de fumée, ou chauffé indirectement au moyen d'une circulation d'eau ou de vapeur qui abandonne sa chaleur dans les pièces que traversent les conduites qui les contiennent.

Les calorifères du premier type, dits calorifères à air chaud, se composent d'un foyer et de conduits de fumée situés dans une chambre de chaleur où l'air appelé du dehors pénètre et s'échauffe au contact des parois. En raison de la plus faible densité, cet air échauffé s'élève par des conduits dans les locaux à chauffer. Il résulte implicitement de ce que nous venons de dire, que les calorifères doivent être situés au-dessous des appartements et que les conduits devront être construits en matériaux aussi mauvais conducteurs que possible, afin de ne laisser perdre à l'air, dans son parcours, que la plus petite quantité de chaleur. Pour échauffer l'air le plus rapidement possible, les parois du foyer et des conduits de fumée devront au contraire être métalliques, et de préférence en

fonte, de manière à obtenir une transmission plus facile. Les conduits de fumée ne devront pas être trop contournés, comme on le voit dans beaucoup d'appareils vicieux, afin que le tirage soit actif et que la suie ne les engorge pas ; ils doivent être faciles à visiter et à nettoyer. Il est bon que le foyer soit dans une enveloppe en

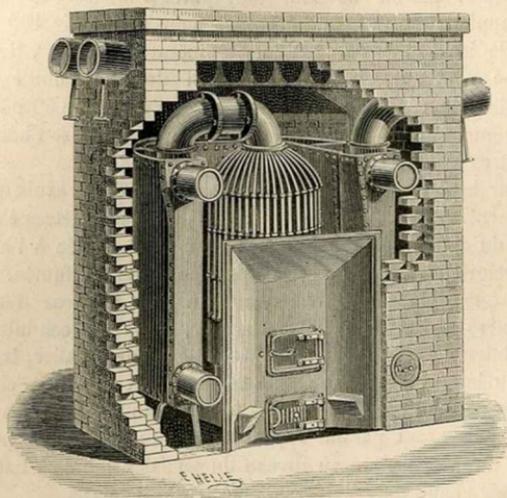


Fig. 17. — Calorifère Geneste.

terre réfractaire, afin que l'air à échauffer ne rencontre pas la fonte rouge et ne s'altère pas.

Dans certains calorifères, tels que le calorifère français de Geneste et Herscher, le foyer est composé d'une série de pièces de fonte annulaires garnies d'ailettes en fonte par lesquelles la chaleur se transmet rapidement à l'air par l'augmentation de la surface de chauffe.

Celui-ci, pris au dehors, est amené par un socle contenant de

l'eau qui le maintient toujours suffisamment humide et s'élève entre les ailettes où il s'échauffe; il est conduit ensuite dans les locaux à chauffer (fig. 17).

Dans des calorifères bien établis, l'effet utile atteint 75 pour 100 de la chaleur dégagée par le combustible. En pratique, on ne doit compter que sur 50 pour 100, quitte à modérer le chauffage dans l'application. Or on admet que, pour maintenir 100 mètres cubes de local à chauffer à une température de 16°, il faut en moyenne 1500 calories à l'heure. Si donc la houille fournit 6000 calories au kilogramme, l'utilisation n'étant que 50 pour 100, on consommera un demi-kilogramme de houille à l'heure par 100 mètres cubes.

Pour brûler ce poids de houille, la grille devra avoir un décimètre carré. On devra compter, d'autre part, deux mètres carrés de surface de chauffe par kilogramme de houille brûlée à l'heure et deux décimètres carrés de section des conduits de fumée.

Chaque jour, on devra donner à l'air 2 litres d'eau par 100 mètres cubes de salle à chauffer. Tous les conduits d'air chaud doivent partir de la chambre de chaleur et aller, indépendamment les uns des autres, directement aux pièces à chauffer. Enfin il est essentiel que toutes les pièces chauffées aient un moyen d'évacuer l'air soit par un appel situé en haut, près du plafond, soit par un orifice situé au niveau du sol; dans ce cas, naturellement, l'air chaud doit arriver par le haut des pièces.

Le calorifère à air chaud s'applique surtout aux habitations particulières de peu d'étendue; car, pour de grands locaux, l'installation des conduites d'air chaud dans de bonnes conditions de fonctionnement et d'efficacité est sinon impossible, du moins très difficile. On est alors obligé de recourir aux systèmes de calorifères à eau chaude ou à vapeur, avec lesquels on est toujours certain d'assurer la circulation.

Calorifère à vapeur. — Ces appareils reposent sur ce fait que, lorsque l'eau se réduit en vapeur, elle emmagasine, rend latente une certaine quantité de chaleur qu'elle tient disponible et qu'elle

restitue lorsqu'elle se condense, à raison de 540 calories par kilogramme.

Par conséquent, si, au moyen de tuyaux et à l'aide de la pression qui se produit par son augmentation de volume, la vapeur peut être conduite aux divers points à chauffer, elle restituera en ces points choisis la chaleur qu'on lui aura fournie dans l'appareil de vaporisation ou chaudière.

Le problème étant ainsi posé, on voit de suite quels seront les appareils nécessaires et quelles conditions ils devront remplir. Le point de départ, qui est le générateur de vapeur, devra être une chaudière quelconque, d'un système simple autant que possible en raison de l'inexpérience qu'ont souvent les chauffeurs chargés de la conduite de ces appareils; ces générateurs sont généralement à basse pression. Cette pression dépend du reste de la longueur et du diamètre des conduites où la vapeur doit être forcée de circuler sous son influence. Dans les usines qui possèdent une machine à vapeur, on emploie souvent la vapeur qui, ayant déjà travaillé dans les cylindres, s'échappe en possédant encore une pression suffisante pour parcourir les tuyaux.

Les tuyaux de conduite doivent être en fonte, en fer étiré ou en cuivre. Le plomb doit être proscrit, parce que, sous l'influence de la pression, il augmente peu à peu de section et finit par crever.

En général, les tuyaux servent à conduire la vapeur et non à chauffer. On emploie avec avantage des appareils appropriés où la vapeur, se condensant, abandonne sa chaleur, qui est ainsi utilisée en ces points déterminés, pour maintenir la température de l'air au degré voulu.

La quantité de chaleur transmise pour un même métal est indépendante de son épaisseur.

On admet dans la pratique que 1 mètre superficiel de fonte condense 1^k,80 de vapeur à l'air et transmet 990 calories et que le cuivre condense 1^k,70 de vapeur en abandonnant 935 calories. D'après Grouvelle, les tuyaux ont un diamètre de 0^m,07 à 0^m,20



lorsque la vapeur y circule à basse pression, et $0^m,035$ plus $0,0015$ par force de cheval employé lorsque la pression est de 2 atmosphères. Les conduites servant à porter la vapeur dans les locaux à chauffer doivent être entourés d'une enveloppe calorifuge en laine, plâtre, chanvre, liège, etc. Ils doivent être inclinés de manière à laisser écouler vers des purgeurs ou vers le générateur l'eau qui s'y condense nécessairement. Il faut avoir soin d'établir sur la conduite des appareils appelés *reniflards* qui permettent à l'air de rentrer lorsque, la vapeur étant toute condensée dans les conduites, le vide s'y produit. Sans cette précaution, les tuyaux pourraient être aplatis par la pression atmosphérique. De même il doit y avoir, aux extrémités des conduites, des souffleurs qui permettent d'expulser l'air lorsqu'on y introduit la vapeur. Enfin il y a lieu de tenir compte de la dilatation du métal chauffé par l'introduction de la vapeur. A cet effet, on dispose sur le parcours des compensateurs qui permettent cette dilatation sans que les tuyaux soient déformés. Les compensateurs sont composés, soit d'un joint étanche permettant le glissement des tuyaux l'un dans l'autre, soit de tuyaux en cuivre en forme d'U renversé; l'élasticité du métal permet aux deux branches de s'ouvrir et de se fermer sans qu'ils se rompent.

Nous venons de voir les appareils producteurs de vapeur et les tuyaux qui conduisent cette vapeur aux locaux à chauffer; restent les dispositifs pour utiliser la chaleur qu'elle contient. Ce sont en général des condenseurs affectant la forme d'un poêle à enveloppe en fonte, tôle ou faïence dans lesquels sont disposés soit des serpentins en fer, soit des boîtes métalliques garnies d'ailettes qui augmentent la surface de condensation ou même de simples récipients en fonte. L'air froid pénètre par le bas, s'échauffe au contact des parois et s'échappe par le haut.

Si l'on connaît le volume d'air à chauffer par heure et si l'on se rappelle que la chaleur spécifique de l'air est de $0,2378$, on en déduit la quantité de chaleur à fournir. La vapeur, comme nous l'avons vu plus haut, abandonnant 540 calories par kilogramme, on saura quel poids de vapeur il faudra produire dans le géné-

rateur, et, d'après les chiffres donnés plus haut, on connaîtra les surfaces que doivent présenter les appareils de condensation. Le problème est donc très simple en théorie; mais, dans l'application, les détails multiples des installations de ce genre exigent, pour les mener à bien, les connaissances d'ingénieurs spéciaux expérimentés.

Calorifères à eau chaude. — Le chauffage par la circulation de l'eau chaude dans des tuyaux était connu des anciens. Mais ce n'est guère que dans le XVIII^e siècle et vers 1777 que ce système commença à se répandre en France avec le dispositif de Bonnemain. Vers 1820, M. de Chabannes l'appliqua en Angleterre en utilisant la chaleur perdue des fourneaux de cuisine. Depuis cette époque, les travaux de Perkins et de Léon Duvour ont donné beaucoup d'extension à ce procédé de chauffage.

L'avantage de ce système provient : d'une part, de la grande chaleur spécifique de l'eau (en effet, 1 kilogramme d'eau à 100° dégage 80 calories lorsqu'elle se refroidit de 100° à 20°, et ces 80 calories peuvent élever de 15° une quantité de 16^m,4 d'air); d'autre part, de la facilité avec laquelle l'eau circule dans des tuyaux en raison de la différence de densité qui existe entre l'eau chaude et l'eau froide.

La figure 18 ci-contre fera saisir de suite le principe de cette circulation. Soit A une chaudière métallique renfermée dans un fourneau quelconque; B un tuyau vertical s'élevant de la chaudière A au récipient C; un autre tuyau D allant du récipient C à la partie inférieure de la chaudière. Si l'on suppose la chaudière, les tuyaux et le récipient pleins d'eau froide, cette eau restera au repos, quels que soient le diamètre des tuyaux et le rapport de leurs longueurs; mais, si l'on vient à chauffer la chaudière, l'eau se dilatant devient plus légère, un courant ascendant se produit de A vers C par B, pendant que l'eau contenue dans le tuyau D vient en descendant

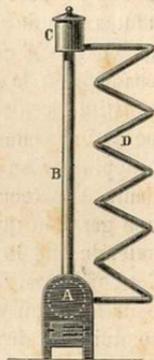


Fig. 18.
Calorifère à eau
chaude.

remplacer celle qui s'élève par B; il se produit ainsi une circulation continue pendant laquelle l'eau qui se refroidit en se mouvant dans D abandonne une quantité de chaleur qui peut être utilisée. Le récipient C a pour but de laisser se produire l'expansion de l'eau et, comme il n'est pas clos, de laisser échapper l'air qui se dégage de l'eau chauffée.

Il arrive souvent que du vase d'expansion C partent plusieurs conduites descendant dans diverses directions ou étages et venant toutes aboutir au bas de la chaudière A. L'essentiel est de maintenir chaude la colonne ascendante. Ce système, plus simple que le chauffage à la vapeur, est très facile à installer et à conduire et constitue le meilleur procédé de répartition de chaleur tant qu'on ne veut pas chauffer à de trop grandes distances : il devient difficile à appliquer au delà de 75^m de chaque côté de la colonne ascendante. Il présente, au point de vue de la régularité du chauffage, une garantie qu'aucun autre système ne peut assurer. Il est bien entendu que la première condition d'installation sera l'étanchéité des conduites. Comme pour le chauffage à la vapeur, l'installation pour le chauffage à l'eau chaude se compose d'une chaudière, de conduites et des appareils de chauffage des appartements ; en plus, il nécessite un vase d'expansion. Dans la pratique, on admet qu'un mètre carré de surface de fonte dans l'intérieur de laquelle l'eau circule suffira pour chauffer 30 à 40 mètres cubes d'appartement ; nous disons 30 à 40, parce qu'il y a lieu d'estimer la température à laquelle on veut arriver ; ce chiffre variera également selon que la pièce présentera plus ou moins de causes de refroidissement. Ce mètre carré de surface de fonte qui peut être remplacé par de la tôle ou du cuivre (en augmentant un peu la surface) laissera passer 990 calories à l'heure.

La chaudière absorbe environ 15,000 calories à l'heure ; par conséquent, la surface de chaudière exposée au feu devra être à peu près 15 fois moins grande que la surface totale des appareils de chauffage de l'air. Ces derniers peuvent être les tuyaux de circulation eux-mêmes, ou mieux des poêles à eau dans lesquels



l'eau se meut de haut en bas. La dépense de chauffage peut être calculée en partant de cette donnée expérimentale, que 1 kilogramme de houille ou de coke transmet à la chaudière 3500 à 4000 calories.

Lorsqu'on emploie le chauffage par eau chaude pour les serres, il faut avoir soin d'augmenter un peu les proportions ci-dessus indiquées à cause des pertes de chaleur considérables qui se produisent par les vitrages.

Pour nous résumer, un volume de 1,000 mètres cubes dans un appartement sera maintenu à une température de 15° au moyen d'un chauffage à eau chaude formé d'une chaudière de 2^m,20 de surface de chauffe et d'une surface de poêles à eau chaude de 33 mètres carrés. En admettant que chaque mètre carré de surface de poêle chauffe 30 mètres cubes, la dépense de combustible nécessitée par la perte de chaleur de ces 33 mètres carrés, qui sera de $33 \times 990 = 32,670$ calories, atteindra $\frac{32670}{4000}$ ou $\frac{32670}{3500}$, c'est-à-dire 8 à 9 kilos. Lorsque la température extérieure baisse beaucoup, il faut fournir plus de chaleur; il est facile d'activer le feu sous la chaudière, de même qu'il est facile de le diminuer lorsque la température remonte.

Dans certains cas, au lieu d'avoir le vase d'expansion ouvert, dont nous avons parlé, on emploie un récipient clos. L'appareil de chauffage est dit alors à haute pression, parce que, la vapeur ne trouvant plus d'issue au dehors, la circulation s'effectue quand même, mais sous la pression même de cette vapeur. C'est l'Anglais Perkins qui a imaginé ce système présentant deux avantages particuliers. La température de l'eau peut atteindre un degré plus élevé, — jusqu'à 200°. — On peut, par conséquent, employer des tuyaux de plus faible section, qui sont réduits à un diamètre intérieur de 0,^m0125 et extérieur de 0,^m025. La chaudière est remplacée par le tube lui-même roulé en serpentín dans le foyer. On lui donne une longueur égale à 1/6 de la longueur totale des circuits. En Angleterre, où ce système est très répandu, on compte 1 mètre

carré de surface de tubes pour chauffer 80 mètres cubes d'air dans un appartement.

Nous venons de passer en revue les divers modes de chauffage actuellement usités; il est certain que chaque système doit répondre à des exigences particulières. Chacun doit donc, avant de choisir le mode de chauffage qu'il devra employer, étudier les conditions locales et déterminer ce qui sera le plus avantageux. Mais, dès qu'il s'agit de chauffer de grands locaux, le mieux est de

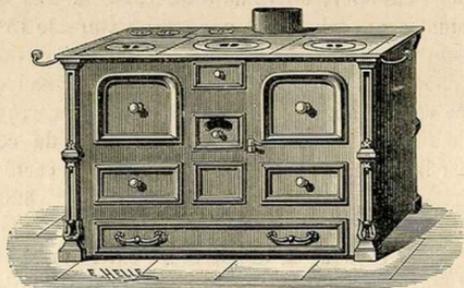


Fig. 10. — Fourneau de cuisine.

s'adresser à des ingénieurs et aux constructeurs spéciaux qui, par leur expérience, éviteront des insuccès et par suite des dépenses inutiles.

Il nous reste à dire quelques mots d'une application du chauffage toute particulière : le chauffage des fourneaux de cuisine par la houille et le coke. Il nous semble que le point de départ de cet emploi de la houille pour la cuisine remplaçant l'antique charbon de bois vient de l'idée d'utiliser le poêle au charbon de terre pour faire la cuisine.

Il est probable que tout d'abord, voyant le dessus d'un poêle rougir, on pensa à tenir chaudement les aliments sur le couvercle, puis à les y préparer directement. Peu à peu nombre de constructeurs sont venus faciliter cet emploi du poêle modifié en perfec-

tionnant sa forme pour y placer les ustensiles de cuisine. Aujourd'hui les fourneaux de cuisine dits économiques, en raison sans doute du double emploi du fourneau qui a pour but de chauffer la pièce et de préparer les aliments à l'aide de la chaleur qui rayonne à travers les parois, comprennent un nombre considérable de modèles. Nous donnons figure 19 le dessin d'un des types les plus perfectionnés. Le foyer sert à chauffer les ustensiles de cuisine lorsqu'on amène au rouge la partie supérieure, à faire rôtir les viandes dans un four intérieur, à tenir de l'eau chaude constamment en réserve et même à chauffer des assiettes. Ce n'est pas à dire que les viandes soient mieux grillées ou rôties, que la cuisine soit meilleure et que le système soit économique. Il est même certain que la cuisine faite avec un appareil qui sert à tant de choses est moins fine, mais on a l'avantage d'avoir un meuble qui, tout en permettant de faire cuire d'une façon quelconque les aliments, chauffe en même temps le local où il est placé et évite la surveillance de plusieurs fourneaux.

Chauffage industriel.

Nous venons d'indiquer sommairement les différents moyens de se servir de la chaleur produite par la combustion de la houille et du coke pour le chauffage domestique. Nous avons examiné successivement les procédés employés pour utiliser le mieux possible cette chaleur ; nous allons voir maintenant comment, dans l'industrie, on est arrivé à en tirer le meilleur parti.

Si pour le chauffage domestique la bonne utilisation a une importance assez grande, il existe d'autres facteurs dont les constructeurs doivent tenir compte : ce sont la ventilation et la commodité des appareils qui conduisent souvent à préférer des systèmes dans lesquels la quantité de chaleur perdue n'est pas négligeable à la vérité, mais vient en seconde ligne. Dans l'industrie, où la dépense de combustible est souvent le principal élément d'un prix de revient, on doit, avant tout, chercher à utiliser la plus grande quantité de la

chaleur développée. Aussi voyons-nous le plus souvent des fabricants renouveler sans hésitation leur matériel de fabrication et le remplacer par un autre, dont la construction entraîne de grandes dépenses, afin d'arriver à réaliser une économie de charbon.

Le constructeur devra donc, avant d'établir un dispositif qui doit tirer parti de la chaleur, étudier soigneusement les conditions du prix de revient des divers charbons à sa portée, ce prix étant naturellement celui du combustible rendu à pied d'œuvre; il devra ensuite chercher les meilleurs procédés d'utilisation de cette chaleur, c'est-à-dire les appareils les plus avantageux pour le genre de charbon choisi. En effet, dans la classification établie au commencement de ce volume, nous avons constaté que certains charbons sont à longue ou à courte flamme, que les uns sont collants, les autres secs; les foyers où leur combustion s'opérera ne devront donc pas être disposés de la même manière et les usages auxquels ils sont appliqués devront être également différents en raison de leurs qualités diverses.

Comme nous l'avons vu pour le chauffage domestique, la chaleur produite par la combustion se disperse de deux façons : par le contact et le rayonnement et par l'entraînement avec les produits de la combustion. Il existera donc deux modes d'emploi, et, par suite, deux catégories d'appareils : dans l'une, on classera tous les dispositifs dans lesquels la matière à chauffer est en contact direct avec le charbon en ignition; dans l'autre, les appareils où la chaleur produite est utilisée en un point différent de celui où a lieu la combustion, c'est-à-dire les appareils où le chauffage a lieu par la flamme.

Dans la première catégorie, on rangera les foyers métallurgiques pour affinage, hauts fourneaux, fours à cuve, foyers de maréchalerie; dans la seconde, les foyers à chauffer, à évaporer les liquides, les chaudières à vapeur, les fours à réverbère, les fours de verrerie et enfin les appareils chauffés par le procédé plus moderne et nous ajouterons plus rationnel des générateurs à gaz, avec lesquels la production de la flamme et l'utilisation de la chaleur

qu'elle fournit ont lieu en un point souvent éloigné de celui où le combustible est décomposé.

Première classe. — Les appareils de cette classe, qui comprend tous les dispositifs dans lesquels la matière à chauffer est en contact direct avec le combustible, sont presque tous des appareils employés dans la métallurgie. La combustion y a lieu d'une façon spéciale. Il nous est impossible, dans cet ouvrage, d'analyser les divers cas qui se présentent pour ces appareils; nous indiquerons cependant en quelques mots les principes qui servent à leur établissement.

Dans tous les foyers de ce genre, le combustible est en couche assez épaisse pour que l'oxygène de l'air, nécessaire à la combustion, ne puisse la traverser. Il ne faut donc pas compter sur le tirage d'une cheminée pour fournir l'air nécessaire. On y supplée au moyen de souffleries qui l'envoient à la partie inférieure de la colonne de combustible sous une pression plus ou moins élevée. Si cette colonne de combustible a une certaine hauteur, il est évident qu'on ne peut employer les charbons gras qui s'aggloméreraient et empêcheraient la circulation de l'air et des gaz résultant de la combustion; aussi n'est-ce guère que dans les forges de maréchalerie que l'on emploie du charbon cru. Dans ce cas, on choisit justement un charbon gras et collant (connu sous le nom de houille grasse maréchale), parce que, sous l'influence de la chaleur, il s'agglutine à la surface du feu et maintient le fer à chauffer dans une espèce de voûte où se concentre mieux la chaleur.

Dans certains cas, on a employé dans les foyers métallurgiques des houilles sèches donnant un coke fritté qui ne s'agglomère pas; mais généralement on se sert de coke dans tous les fourneaux à *cuve*, c'est-à-dire dans tous ceux où il existe au-dessus de la partie réservée à la combustion une cuve, ou espace dans lequel sont emmagasinés le combustible et la matière à élaborer.

Le type de ces fourneaux à cuve est le haut fourneau où l'on traite les minerais de fer; les fourneaux à manche, les cubilots, les demi-hauts fourneaux pour le cuivre, les fours Raschette em-

au-dessous est le *ventre* V, partie la plus large du fourneau, puis les *étalages* E ayant la forme tronconique, mais dont l'ouverture, c'est-à-dire la partie la plus large, est tournée vers le haut. La partie inférieure se continue par un vide à peu près cylindrique appelé *ouvrage* O. Enfin au bas on trouve le *creuset* K. Entre l'ouvrage et le creuset sont situées les *tuyères* T par lesquelles l'air pénètre dans le fourneau.

La hauteur de ces fourneaux varie de 10 à 20 mètres selon la nature des minerais et du combustible.

Étant donnée cette description sommaire, examinons comment se produit la combustion.

L'air froid, ou chaud selon les cas, pénètre dans le fourneau par les tuyères et y rencontre la masse de combustible incandescent; l'oxygène de l'air se combine avec le carbone du coke, pour former de l'acide carbonique en produisant une température très élevée qui amène la fusion de la fonte et des scories. Ces matières liquides descendent dans le creuset, où elles se séparent par ordre de densité. Les scories liquides s'écoulent par une ouverture pratiquée sur le côté du creuset et par-dessus une partie de la paroi appelée *dame* D; la fonte est extraite de temps en temps par une ouverture appelée *trou de coulée*, ménagée au bas du creuset. L'acide carbonique produit, s'élevant dans le four, ne tarde pas à rencontrer d'autre coke en ignition; il se transforme en oxyde de carbone en absorbant de la chaleur, de sorte qu'arrivés au gueulard les produits de la combustion se composent théoriquement d'oxyde de carbone et d'azote. Ces gaz s'échappent par des conduits M placés au-dessous du gueulard; ils sont utilisés pour chauffer, soit l'air lancé par les tuyères, soit les chaudières; ou bien encore on les emploie pour l'affinage en y mélangeant une quantité d'air convenable destiné à leur fournir l'oxygène nécessaire à la combustion, c'est-à-dire à leur transformation en acide carbonique.

La partie où a lieu la formation de l'acide carbonique dans le haut fourneau, ou zone de fusion, est excessivement réduite et atteint seulement 0^m,40 de hauteur environ. Au-dessus de cette zone



de fusion, il se produit un brusque abaissement de température; dans la partie appelée zone de réduction, la température n'est plus que de 400 à 600 degrés, la colonne gazeuse chauffe les matériaux qu'elle traverse et leur enlève leurs éléments volatils et leur humidité; en même temps, l'oxyde de carbone réduit le fer à l'état métallique. Ces réactions se sont produites avant que le fer n'atteigne la zone de fusion. Les gaz, à leur sortie, n'ont plus qu'une température de 120 à 150 degrés; leur utilisation a été un des grands progrès de la métallurgie moderne, puisque l'on a reconnu que la chaleur développée par leur combustion représentait jusqu'à 85 pour 100 de celle que le coke, introduit dans le haut fourneau, était susceptible de fournir; nous verrons plus loin, lorsque nous parlerons des générateurs à gaz, quelle est la conséquence industrielle de cette utilisation du gaz de haut fourneau.

Les cubilots ne transforment pas complètement l'acide carbonique en oxyde de carbone; on trouve encore des quantités considérables d'acide carbonique dans les gaz qui s'en dégagent. Il n'est pas utile que cette transformation se produise, le cubilot devant simplement déterminer une fusion, il y a tout avantage à obtenir une combustion complète, c'est-à-dire le maximum de température. L'oxyde de carbone qui se dégage n'est qu'une perte de chaleur.

La quantité de coke nécessaire varie de 150 à 200 kilogrammes par 100 kilogrammes de fonte obtenue dans un haut fourneau; pour fondre le même poids de fonte dans un cubilot, on compte de 100 à 200 kilogrammes de coke. Lorsque l'on fond au creuset à l'aide de fourneaux à vent, il faut, pour la fonte, de 80 à 200 kilogrammes de coke, selon le nombre de creusets, et 200 à 400 kilogrammes par 100 kilogrammes d'acier.

Deuxième classe. — Les appareils de cette classe, où le chauffage a lieu au moyen de la flamme, peuvent être partagés en deux sections: 1° les dispositifs où la flamme seule sert au chauffage et où elle se produit immédiatement auprès du combustible qui est brûlé dans l'appareil chauffé; 2° ceux où le chauffage par la flamme

a lieu en un point plus ou moins éloigné du combustible qui la produit. Nous nous occuperons d'abord des appareils de la première section, qui comprennent les chaudières à vapeur, et tous les appareils servant au chauffage des liquides, les fourneaux dans lesquels on fait servir la flamme à des opérations chimiques ou métallurgiques, comme les fours à réverbère, les fours de verrerie, de céramique, etc.

Tout appareil de chauffage comporte un foyer où se produit la combustion du charbon, un espace où l'on utilise la chaleur développée, et enfin un dispositif qui a pour but de produire l'introduction de l'air nécessaire à la combustion, soit par appel au moyen des cheminées, soit par injection au moyen d'une soufflerie. Ces divers éléments doivent, bien entendu, être proportionnés à l'effet à produire, c'est-à-dire que la quantité de chaleur nécessaire varie suivant l'opération à effectuer et la quantité des matières à chauffer. La chaleur demandée est obtenue par un poids de combustible dépendant de sa puissance calorifique, et pour assurer la combustion de ce poids de combustible, il faut lui fournir une quantité d'air déterminée.

Connaissant la quantité de chaleur à produire et la puissance calorifique du combustible, on aura le poids à brûler dans l'unité de temps, en tenant compte du coefficient d'utilisation fourni par l'expérience. Pour assurer la combustion, le charbon est étendu sur la grille, formée de barres de fer, de fonte ou de terre réfractaire, en couche dont l'épaisseur variera avec chaque espèce de combustible, et le vide laissé par les barreaux doit être suffisant pour le passage de l'air nécessaire. Il ne faut pas que les barreaux soient trop écartés, parce que le menu, c'est-à-dire la partie du combustible qui est en petits morceaux, tomberait au-dessous sans être brûlé et, se mêlant aux cendres, serait perdu. D'autre part, si les barreaux sont trop peu écartés, l'air ne passe pas assez librement et les cendres tombent difficilement dans le cendrier, surtout si, l'allure du feu étant assez vive, la température élevée forme des scories fusibles. Celles-ci viennent alors s'agglomérer, au con-

tact de l'air froid, au-dessus des barreaux et les encrassent ; il est dans ce cas difficile de leur livrer passage et la combustion n'a plus lieu régulièrement. En pratique, on admet que le vide laissé par les barreaux doit avoir : pour la houille maigre, une surface égale au quart de la surface de la grille ; pour la houille grasse, le tiers, et pour l'antracite et le coke, la moitié.

Cependant, ces chiffres ne sont pas absolus, et il est préférable de déterminer dans chaque cas particulier, et par une expérience directe, le meilleur écartement à donner.

De même, pour la surface de la grille, le calcul ne peut pas fournir des renseignements bien certains, et le mieux est de s'en rapporter aux chiffres indiqués par la pratique, en comparant les résultats donnés par des appareils reconnus bien établis et par une expérience spéciale. Pécelet admet que, pour brûler 1 kilogramme de houille à l'heure, la grille doit avoir 4 décimètre carré ; mais beaucoup de constructeurs donnent à leurs grilles une surface de 1 décimètre par 0^{kg},50 à 0^{kg},75.

Il est évident que, selon le tirage de la cheminée ou la puissance de la soufflerie, l'affluence de l'air nécessaire à la combustion variera et que, par suite, la surface de la grille devra varier également.

Les cheminées qui produisent cet appel d'air peuvent être calculées suivant certaines données théoriques, et l'on en précise les dimensions au moyen des résultats fournis par la pratique.

Nous avons vu, en parlant de la puissance calorifique des combustibles, quelles étaient les quantités d'air nécessaires pour leur combustion. En pratique, on doit admettre, pour le calcul des cheminées, qu'une grande partie de l'air passe à travers le combustible sans être utilisée et que la quantité qui doit être appelée par une cheminée est le double de celle qui est indiquée par la théorie. L'appel est produit par la différence entre la température de l'air contenu dans la cheminée et celle de l'air extérieur. Lorsqu'on allume du feu au bas de la cheminée, la colonne gazeuse qu'elle contient, froide au début, s'échauffe, se dilate et, par con-

séquent, devient plus légère et prend un mouvement ascensionnel. Si l'on considère une cheminée ayant un demi-mètre carré de section et 25 mètres de hauteur, la colonne d'air contenue pèse, à 0°, 16 kilogrammes, et à 100°, 12 kilogrammes en chiffres ronds; cette différence constitue la pression qui déterminera l'appel d'air extérieur nécessaire à la combustion. Mais ces chiffres théoriques sont modifiés par une foule de circonstances spéciales, et on peut admettre en pratique que la pression qui assure l'écoulement devra être réduite au tiers ou au quart de celle indiquée par la théorie, à cause du frottement le long des parois, des remous produits par les variations de section et des coudes dans les carreaux; aussi, en réalité, se sert-on plutôt des résultats de l'expérience, tout en prenant comme point de départ les calculs théoriques. Nous ne saurions entrer, pour l'établissement des dimensions des cheminées, dans tous les développements que cette question comporte, et nous sommes obligés de renvoyer aux ouvrages spéciaux. Les cheminées usitées dans l'industrie sont en tôle ou en briques, sauf de rares exceptions. Les premières sont presque toujours circulaires et ne s'emploient que lorsqu'elles ont une faible section; en général, leur hauteur n'atteint guère que 12 ou 15 mètres. Les cheminées en briques sont carrées, octogones ou circulaires, et leur hauteur varie de 15 à 50 mètres. Quelques cheminées ont été élevées jusqu'à 125 ou 140 mètres; mais ce sont là des tours de force dont l'utilité ne semble guère démontrée, au point de vue de l'appel d'air. L'épaisseur des grandes cheminées est de 0^m,22 au sommet; les petites se terminent quelquefois sous l'épaisseur de 0^m,11, soit une demi-brique; mais il est toujours préférable, pour la solidité et la facilité des réparations, de les terminer à la dimension de 0^m,22. Comme elles sont construites en général de l'intérieur, il faut réserver une ouverture minima de 0^m,45 pour que l'ouvrier qui fait le travail puisse passer. L'épaisseur de la maçonnerie allant en diminuant au fur et à mesure qu'on s'élève, on donne à l'ouvrage une forme conique à l'extérieur, afin de ne pas tailler les briques; cette forme se traduit par un fruit de 0^m,025 à 0^m,035



par mètre, et à l'intérieur, on ménage des ressauts brusques de 0^m,11.

La base est toujours prismatique et généralement à section carrée. Au-dessous du sol, elle s'appuie sur un massif en maçonnerie de ciment ou de béton, qui repose lui-même sur le terrain solide. Une chambre de fumée, ou vide où aboutissent les carneaux, est ménagée à la base de la cheminée et, au niveau du sol, on pratique sur un des côtés une ouverture suffisante pour le passage d'un homme. C'est par cette ouverture qu'on fait passer les matériaux pendant la construction; aussitôt après, on la ferme par une murette en briques de 0^m,11. Plus tard, cette porte servira en cas de réparations intérieures. Au fur et à mesure que la cheminée s'élève, on scelle à l'intérieur des crampons de fer distants de 0^m,25 à 0^m,30, de façon à permettre au fumiste de monter comme sur une sorte d'échelle.

Lorsque la cheminée ne peut atteindre une hauteur suffisante, ainsi que cela arrive pour les locomotives, pour certaines chaudières marines, pour les locomobiles, etc., on emploie, pour assurer l'appel d'air nécessaire, un artifice spécial en utilisant la vapeur qui s'échappe du cylindre après avoir produit son travail sur le piston. On la dirige à la base de la cheminée par des conduits d'échappement terminés par un ajutage conique. (Souvent, pour activer le feu, lorsque la machine est au repos, un conduit spécial prend la vapeur directement dans la chaudière pour alimenter *le souffleur*.) Quelquefois, enfin, au lieu d'aspirer l'air à travers le combustible au moyen d'une cheminée ou d'un jet de vapeur, on chasse, au moyen d'une soufflerie, cet air sous la grille, dans le cendrier, qui alors doit être fermé. Dans certains cas, l'air envoyé pour alimenter la combustion est chauffé par la chaleur perdue du foyer avant de pénétrer sous la grille. On peut, de cette manière, obtenir des températures beaucoup plus élevées, comme nous l'avons vu pour les hauts fourneaux.

Ainsi, dans tous les appareils de la deuxième classe, on retrouve constamment ces trois éléments : le foyer, qui produit la

flamme ; le point où l'on utilise la chaleur de cette flamme, enfin la cheminée ou la soufflerie qui détermine le mouvement de l'air. Mais dans chaque application les dispositions varient et les formes ainsi que les arrangements de ces trois éléments sont innombrables.

Nous allons passer en revue quelques-uns des principaux dispositifs, à titre d'exemples.

Chaudières à vapeur. — Les chaudières à vapeur sont des appareils dans lesquels on utilise la chaleur dégagée par la combustion en se servant du contact de la flamme et du rayonnement du foyer. Pour arriver au meilleur rendement, il faut d'abord recueillir toute la chaleur rayonnante ; c'est ce que l'on réalise en plaçant le foyer dans l'intérieur même de la chaudière, de telle sorte qu'il soit complètement entouré par les parois

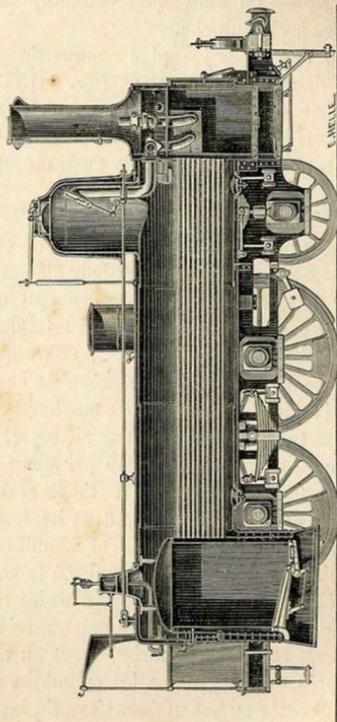


Fig. 21. — Foyer de locomotive.

métalliques en contact avec l'eau. Quant à la flamme, on lui fait lécher les surfaces de la chaudière, de telle manière que les gaz chauds sortent à la plus basse température possible, c'est-à-dire à une température très peu supérieure à celle même de la vapeur

produite. Cette condition d'utilisation de la chaleur ne se réalise pas dans la pratique ; mais on cherche à se rapprocher autant que possible de ce desideratum théorique au moyen de dispositifs dans lesquels on doit, bien entendu, tenir compte des exigences spéciales à chaque cas.

Un des types les plus connus de chaudière est celui qu'on trouve dans les locomotives (fig. 21). Le dessin représente une locomotive à grande vitesse, construite au Creusot. Le foyer est placé dans le corps même de la chaudière et les parois exposées au rayonnement en contact avec l'eau mesurent 10 mètres carrés de surface.

La flamme et les produits de la combustion s'échappent du foyer et passent par des tubes au nombre de 180, placés au sein même de la masse d'eau à échauffer ; leur diamètre intérieur est de 0^m,046 et leur longueur de 4^m,350, présentant une surface de chauffe de 413 mètres carrés ; c'est donc un total de 123 mètres carrés exposés à la chaleur ; la grille a 2^m,20 de surface. On réalise ainsi une chaudière ayant 5^m,59 de surface de chauffe par mètre carré de grille. La cheminée commence au-dessus d'un espace vide situé au bout des tubes du côté opposé au foyer, et appelé boîte à fumée ; une de ses parois est fermée par des portes qui permettent de temps en temps de nettoyer les tubes et de les visiter. La cheminée a 0^m,440 de diamètre et 2^m,46 de hauteur au-dessus de la boîte à fumée. Ces dimensions seraient insuffisantes, bien entendu, pour déterminer l'appel d'air nécessaire à la combustion, appel qui doit être très énergique pour pouvoir brûler rapidement le charbon sur la grille, de façon à produire une vaporisation active. Aussi détermine-t-on cet appel artificiellement au moyen d'un jet de vapeur qui, après avoir agi dans les cylindres, s'échappe par une tuyère conique située au bas et dans l'axe de la cheminée. Dans les locomotives, la quantité de charbon brûlé par mètre carré de surface de grille est en moyenne de 300 kilogrammes à l'heure. L'eau vaporisée par kilogramme de combustible est en général de 8^l,5, et chaque mètre carré de surface de chauffe peut vaporiser 35 hecto-

litres d'eau. Dans la marine, où l'économie de combustible a une importance considérable, en raison de l'espace qu'il occupe, — espace perdu pour les marchandises à transporter, — on a dû chercher les meilleures conditions pour arriver à réaliser cette économie; en outre, il faut que les chaudières soient logées dans les flancs du bâtiment en tenant peu de place; aussi les machines marines sont-elles les mieux disposées pour tirer parti du combustible en augmentant le parcours des flammes. Dans les modèles les plus employés, le foyer est placé dans la chaudière même, la flamme produite, en partant du foyer, fait un retour en avant et parcourt plusieurs rangées de tubes qui sont placés comme dans les chaudières de locomotives, au sein même de la masse d'eau à échauffer; la chaudière se continue même sous les foyers, de façon à utiliser encore en dessous des grilles le rayonnement du combustible en ignition. Aussi, dans beaucoup de cas, la dépense de houille atteint-elle à peine 1 kilogramme par cheval de force produit et par heure, tandis que pour les machines fixes de petite dimension employées dans l'industrie, on consomme jusqu'à 4 et 5 kilogrammes de houille par cheval et par heure. Les machines marines fonctionnent à une assez faible pression, 2 à 2 atmosphères et demie, à cause de la nature de l'eau de mer qui, avec un chauffage un peu vif comme celui des locomotives, donnerait des incrustations dont l'adhérence et la dureté deviendraient dangereuses pour la sécurité de la chaudière. Aussi ne se sert-on plus de vapeur pour provoquer l'appel de l'air et emploie-t-on le tirage naturel ou des ventilateurs. La consommation de charbon à l'heure varie de 80 à 110 kilogrammes par mètre carré de grille; en moyenne, cette consommation produit de 75 à 90 chevaux de force.

La nécessité de réduire le volume et le poids des générateurs de vapeur dans la marine a fait adopter depuis quelques années sur un grand nombre de bateaux des chaudières dans lesquelles on ne fait plus passer de tubes à travers la masse d'eau à chauffer, mais où l'on fait circuler cette eau à l'intérieur de tubes placés au milieu

des flammes. La circulation s'établit en raison de la différence de densité produite par l'échauffement, comme nous l'avons vu pour le thermo-siphon. En outre, les tubes de fer dont on se sert pour contenir cette eau peuvent, à cause de leur petit diamètre, avoir une faible épaisseur; la masse d'eau étant très divisée s'échauffe très vite et, par suite, on obtient rapidement la pression de vapeur nécessaire au fonctionnement de la machine; la quantité d'eau est à peu près la dixième partie de celle que renferment les chaudières ordinaires; le danger des explosions est beaucoup moins grand et, en général, les ruptures de tubes sont assez rares et ne produisent qu'une extinction des feux; aussi a-t-on appelé ces chaudières inexplosibles. Un des types les plus connus est la chaudière Belleville, que la marine et l'industrie ont souvent employée. Ce type d'appareil, représenté figure 22, se compose d'une série de tubes en fer en forme d'U, raccordés entre eux par des boîtes et des coudes, qui communiquent en haut et en bas par des tubes dits conducteurs. Au bas de la chaudière est une sorte de boîte dite collecteur inférieur où l'eau d'alimentation est prise. Une pièce analogue sert de collecteur supérieur et la vapeur formée s'y rassemble. De là, elle passe à travers les tubes sécheurs placés au-dessus de l'ensemble des tubes producteurs de vapeur; enfin au sommet de la chaudière est un cylindre sur lequel sont boulonnées la soupape de sûreté et la prise de vapeur. Sur le côté est un tube de communication et de retour d'eau entre le collecteur supérieur et le collecteur inférieur. Sur ce tube est placé un tube de verre indicateur du niveau. Le foyer construit à la partie inférieure des tubes est garni de briques réfractaires. Le combustible brûlé pour une force donnée est à peu près le même que dans les bons types de chaudières.

La légèreté et le peu d'espace qu'il occupe ont fait adopter ce système dans beaucoup de cas; un générateur Belleville pour machine fixe de 50 chevaux pèse 6000 kilogrammes, et un générateur marin de 200 chevaux pèse 50 tonnes, eau comprise; la même chaudière du type ordinaire pèserait 80 tonnes. Dans cet ordre

d'idées, on est parvenu à réaliser des tours de force au point de vue de la légèreté et du peu d'espace occupé. Ainsi les générateurs du Temple, dont l'organe essentiel est un faisceau de tubes d'acier, peuvent donner une force considérable, eu égard à leur poids extrêmement réduit et au petit volume qu'ils occupent; une chau-

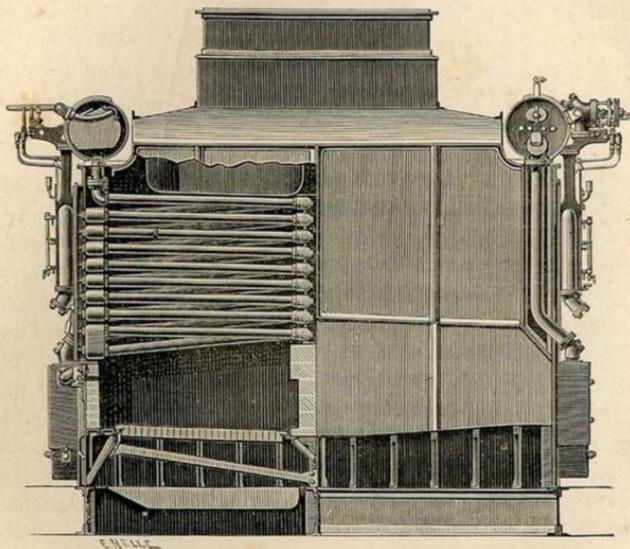


Fig. 22. — Chaudière Belleville.

dière de ce système, susceptible de fournir la vapeur à un moteur de 50 chevaux, mesure 1 mètre de profondeur, 1^m,40 de largeur, 2^m,25 de hauteur et ne pèse que 2200 kilogrammes.

Chaque type de chaudière ayant été établi en vue de nécessités spéciales, la forme varie avec le genre d'application; mais le but est toujours le même : vaporiser dans un temps donné la plus grande quantité d'eau possible avec le minimum de combustible.

Les conditions de poids et de volume dépendent de l'usage auquel la chaudière est destinée. Il n'en est pas de même dans les foyers où la flamme produite est appelée non seulement à élever la température d'une substance à traiter, mais souvent encore à modifier sa constitution en déterminant des réactions chimiques, comme nous l'avons vu pour la production de la fonte dans les hauts fourneaux.

Si nous examinons, par exemple, un fourneau à puddler, également employé dans l'industrie sidérurgique, nous pourrions constater l'influence de la qualité de la flamme.

Un fourneau à puddler (fig. 23) est un four du type dit à réverbère; le foyer est placé à une des

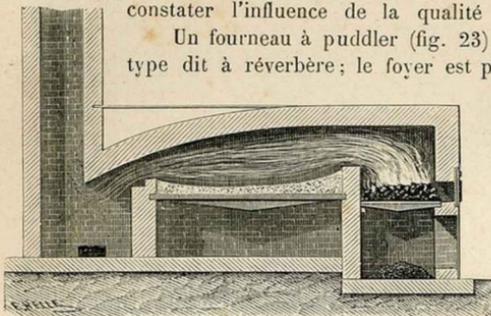


Fig. 23. — Four à puddler.

extrémités du massif. Le charbon, en y brûlant, donne naissance à une flamme qui, appelée par une cheminée plus ou moins haute, traverse le four propre-

ment dit en léchant la surface de la *sole* où sont placées les matières à traiter; la voûte du fourneau, portée à une haute température, rayonne sur la sole, et cette action vient s'ajouter à celle de la flamme. En introduisant dans cette dernière une plus ou moins grande quantité d'air, on la rend oxydante ou réductrice. Le four à puddler que nous donnons comme exemple de ce genre de fourneaux sert à produire l'affinage de la fonte pour la transformer en fer par la méthode dite anglaise. Dans cette opération, la fonte brute est chauffée à une température élevée par la flamme venant du foyer et appelée par une cheminée de 10 à 15 mètres. Cette

fonte, rapidement portée au rouge blanc, se ramollit et la flamme, qu'on rend oxydante, brûle le carbone, le phosphore et les autres corps étrangers. On renouvelle les surfaces en brassant la masse de fonte pâteuse; l'oxyde de carbone formé au contact de l'oxygène de l'air entraîné brûle avec une flamme bleuâtre. A mesure que les impuretés s'éliminent, la masse se transforme en fer et devient moins fusible; il se forme des noyaux que l'on rassemble en *balles* et qu'on soumet ensuite au martelage. Le marteau dit à cingler que l'on emploie à cet effet donne de la cohésion au métal en même temps qu'il en élimine les scories. Le fer est ensuite soumis à d'autres opérations d'affinage, telles que le corroyage.

Nous venons de voir ici une opération dans laquelle la flamme, que l'on produit oxydante, permet de réaliser une réaction chimique à haute température. Dans d'autres cas, cette flamme est réductrice, c'est-à-dire contient une quantité d'oxygène insuffisante; elle emprunte alors le complément nécessaire pour la combustion complète aux substances traitées sur la sole du four à réverbère où elles sont chauffées; on peut même, dans certains cas, rendre la flamme oxydante et réductrice alternativement et selon les nécessités du travail à effectuer. Les formes des foyers et les méthodes employées pour produire la chaleur par la combustion de la houille sont évidemment soumises à mille considérations dépendant des résultats que l'industriel veut obtenir. Dans certains cas où il faut une chauffe continue et absolument régulière, on a été conduit à faire des dépenses d'installation extrêmement élevées, parce que la question d'économie du combustible est la condition *sine qua non* du rendement industriel.

Une des industries où il faut réaliser quand même des économies, tout en arrivant à une chauffe énergétique et régulière, est la verrerie. Aussi beaucoup de fours ont-ils été essayés successivement; un fabricant hésite rarement à transformer son outillage pour obtenir une économie de charbon, et cependant ces installations sont coûteuses.

Depuis quelques années, les méthodes de chauffage ont fait

de grands progrès avec les générateurs dont nous parlerons plus loin ; mais, en raison des frais de construction élevés qu'ils entraînent, on a cherché à combiner des appareils mixtes présentant les avantages des gazogènes, tout en étant moins dispendieux.

Dans l'industrie de la verrerie, dont nous parlions plus haut, on se sert beaucoup du four Boétius, qui réalise en grande partie

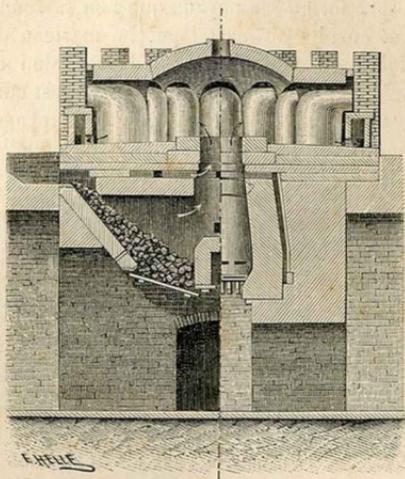


Fig. 24. — Four Boétius.

ces conditions. Nous le donnerons comme exemple de ces fours mixtes, de même que nous parlerons plus tard du four mixte Lerat dans l'industrie du gaz.

Le four Boétius (fig. 24) utilise bien le charbon, en procurant une économie de 30 pour 100 ; la température produite est constante, condition nécessaire à la bonne conservation des creusets de verrerie, et le chauffage est régulier pour chacun d'eux.

La houille, chargée par deux ouvertures latérales au niveau du sol, descend sur deux plans inclinés en briques réfractaires où

elle commence à se décomposer; les produits combustibles de cette décomposition se dégagent et vont rejoindre la flamme centrale. Cette houille arrive ensuite sur la grille à l'état de coke incandescent; au contact de l'air qui traverse les barreaux, elle se transforme en acide carbonique qui se réduit en oxyde de carbone, en passant à travers la masse de combustible. Tous les produits de la décomposition s'échappent par une ouverture centrale pratiquée dans la voûte du foyer et correspondant au centre du four de verrerie proprement dit. Au milieu de cette ouverture et par quatre côtés à la fois arrive l'air nécessaire à la combustion complète; cet air a été chauffé préalablement par sa circulation à travers des canaux pratiqués dans l'épaisseur des parois. Il vient ensuite déboucher à la partie inférieure de la chambre de chauffe et donne naissance à une flamme qui s'élève jusqu'à la voûte et redescend autour des pots ou creusets contenant le verre en fusion.

Les produits de la combustion s'échappent par des ouvertures pratiquées au pied de la voûte, près du fond des creusets et correspondant à des cheminées établies dans les piliers du four.

Voici donc un dispositif dans lequel la flamme ne se produit pas immédiatement au-dessus du combustible. Cependant le foyer est établi dans le même massif que le foyer proprement dit. Dans les appareils dits gazogènes, ou générateurs à gaz, le combustible est décomposé dans un appareil spécial qui remplace le foyer; il fournit des produits gazeux dont la combustion a lieu dans les appareils à chauffer lorsqu'on leur fournit l'air nécessaire.

Ce système de chauffage, qui permet une utilisation bien plus rationnelle des combustibles, a pour origine l'emploi du gaz des hauts fourneaux.

Le premier essai réalisé, d'après un mémoire de Berthier, consistait à appliquer la chaleur perdue au chauffage de l'air envoyé dans les tuyères et à la production de la vapeur des machines motrices; puis, MM. Thomas, Laurens, Sire, etc., s'en servirent pour le chauffage des fours à puddler et à réchauffer. Vinrent ensuite les travaux si remarquables d'Ebellen, qui apporta la ri-

gueur des méthodes scientifiques à l'étude et à l'analyse des gaz produits par les hauts fourneaux, les fours à coke et les gazogènes.

Un grand nombre d'inventeurs, inspirés par ces travaux, préconisèrent une quantité de systèmes nouveaux plus ou moins bons. Les premiers gazogènes fonctionnaient très irrégulièrement; aussi l'industrie ne commença-t-elle à les appliquer sans hésitation qu'à partir de la création des fours Siemens, munis d'un récupérateur de chaleur. Nous décrirons, à titre d'exemple, un de ces appareils appliqués au réchauffage des paquets de fer sortant du puddlage; la figure 25 en donne une coupe.

Ce modèle, dû à M. Ponsard, se compose tout d'abord du gazogène dans lequel le charbon, chargé par une trémie à bascule, descend dans une chambre où il se décompose en gaz combustibles. Au fur et à mesure qu'il descend le long du plan incliné sur lequel il tombe au-dessous de la trémie de chargement, le charbon, en s'échauffant, laisse dégager les produits volatils, les hydrocarbures et l'eau qu'il contient. Lorsque, par suite de la consommation des couches inférieures, il arrive sur la grille inclinée formée de barreaux plats horizontaux disposés en escalier, il n'est plus qu'à l'état de coke. Sous l'action de l'air atmosphérique qui afflue par l'appel d'une cheminée, il se décompose en formant de l'acide carbonique et brûle ainsi complètement. Mais l'acide carbonique est entraîné au fur et à mesure de sa production à travers la masse de combustible incandescent en excès et se transforme en oxyde de carbone. Celui-ci se mêle avec les premiers produits de décomposition et il est entraîné soit dans les récupérateurs, soit dans le four même où il doit être brûlé. Mais au moment de pénétrer dans le four où leur combustion va s'opérer, les gaz rencontrent de l'air appelé du dehors et qui a traversé un jeu de récupérateurs, de manière à se chauffer avant de venir fournir l'élément comburant aux gaz qui se dégagent dans le four.

Les récupérateurs sont des dispositifs au moyen desquels on peut recouvrer une partie de la chaleur qui, sans leur emploi, aurait

été entraînée par les gaz brûlés. Il en existe de divers systèmes ; ils peuvent tous être ramenés à deux types : dans l'un, les gaz brûlés sortant du four après leur utilisation traversent des chambres en maçonnerie remplies de briques réfractaires, disposées en piles qui laissent entre elles des intervalles suffisants pour le pas-

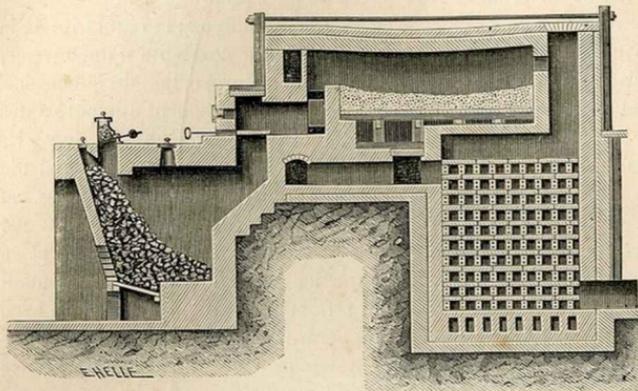


Fig. 25. — Four à réchauffer.

sage des gaz. Ces gaz, brûlés, ayant encore une haute température, amènent les briques au rouge. Lorsqu'on reconnaît que les briques ont pris une température convenable, on dirige les gaz vers une seconde chambre disposée de la même manière et dans laquelle ils échauffent de nouvelles briques ; cette manœuvre fait ouvrir en même temps des carneaux spéciaux par lesquels l'air qui doit servir à la combustion circule, après avoir traversé le premier récupérateur, avant de pénétrer jusqu'aux fours où il rencontre les gaz à brûler.

Dans l'autre type, il n'y a pas de changements de sens dans le mouvement des gaz : les conduits sont disposés de telle sorte que l'air appelé du dehors traverse des dispositifs creux en briques,

sorte de tuyaux autour desquels circulent les produits de la combustion marchant en sens inverse du courant d'air. Ce système plus simple présente l'inconvénient d'être difficile à rendre assez étanche pour qu'il n'y ait pas de mélanges des gaz brûlés et de l'air.

On voit à droite de la figure 25, sous le four même, un récupérateur du premier type formé de piles de briques.

Les avantages de ce système sont nombreux : la régularité de la chauffe ne dépend plus de la surveillance constante d'un ouvrier, puisque le gaz combustible se produit en proportion de la consommation ; il suffit d'avoir le gazogène convenablement alimenté à des intervalles de temps assez longs. Un même gazogène peut desservir plusieurs foyers. La flamme produite peut être facilement oxydante ou réductrice, selon les quantités d'air introduites, et elle est exempte de cendres et de poussières entraînées ; ce résultat est fort important dans certaines industries pour la propreté et la conservation des fours, parce que les cendres, étant généralement alcalines, attaquent les briques réfractaires, ce qui n'a pas lieu avec les gaz de gazogènes. Les températures obtenues sont bien plus élevées qu'avec aucun autre système de foyers. Les combustibles inférieurs, tels que les houilles de mauvaise qualité, les menus, la tourbe, etc., qui étaient presque sans emploi, peuvent être brûlés dans les gazogènes et donnent d'aussi bons résultats que les bonnes houilles, si l'on prend certaines précautions et si l'on dispose convenablement les gazogènes en raison de la nature du combustible à brûler. Enfin, l'économie réalisée par ce système de chauffage atteint quelquefois 50 pour 100. Tous ces avantages ont depuis quelque temps fait employer les gazogènes par toutes les industries dont les opérations exigent une chaleur régulière ou des températures élevées. La dépense d'établissement est, il est vrai, plus forte que pour la construction de simples foyers ; mais les frais supplémentaires sont rapidement couverts par l'économie réalisée.

IV

FABRICATION DU GAZ

Historique.

Nous avons vu que la houille ne commença à être employée pratiquement que vers le xvii^e siècle, et seulement comme combustible. A cette époque, elle prit peu à peu de l'importance et attira sur ses propriétés l'attention des chimistes et des industriels. On put bien constater que, dans certains cas, un gaz inflammable s'en dégageait; mais on ne tira aucune conséquence de ce fait. On remarqua aussi que certaines houillères émettaient des gaz qui donnaient une flamme lorsqu'on en approchait un corps en ignition, et enfin que la houille elle-même, chauffée en vase clos, produisait un gaz inflammable. Shirley, Lowther firent paraître des mémoires à ce sujet. En 1727, Hales publia dans les *Vegetable Statics* ses recherches sur le gaz de charbon; Clayton, lord Dundonald, Lampadius ont étudié la même question, mais tous ces travaux étaient exécutés à un point de vue scientifique plutôt que dans le but d'en obtenir un résultat industriel. L'idée de l'application à l'éclairage du gaz produit par la décomposition de la houille surgit presque en même temps en France et en Angleterre; tout d'abord en France avec Lebon et peu après en Angleterre avec Murdoch. Mais les résultats pratiques furent bien différents dans les deux pays, et la France, où l'éclairage au gaz a été découvert, n'en profita que longtemps après que l'Angleterre l'eut adopté.

Philippe Lebon, ingénieur des ponts et chaussées, né à Bra-chay (Haute-Marne) le 29 mai 1767, étudiait les perfectionnements à apporter à la machine à vapeur, et incidemment les propriétés de la fumée produite dans les foyers. Son esprit, habitué aux déductions scientifiques, le porta à examiner plus à fond le phénomène de la flamme, et c'est ainsi qu'il fut conduit vers 1791 à appliquer les produits de la décomposition des combustibles à l'éclairage. La houille n'était pas encore très connue en France ; comme Lebon avait le bois sous la main, il étudia les produits de la décomposition du bois. Fourcroy et Prony encouragèrent ses premiers essais et l'engagèrent à les faire connaître au monde savant. Lebon adressa en l'an VII à l'Institut un mémoire sur ses travaux et, en l'an VIII (le 28 septembre 1799), il prit un brevet pour s'assurer la propriété de ses découvertes.

Il appela *thermo-lampe* l'appareil qui lui servait à décomposer le bois et à produire le gaz d'éclairage. Mais Lebon ne voyait pas seulement le côté scientifique de sa découverte ; il en prévoyait toutes les conséquences et les nombreuses applications. Il essaya de tirer parti de ses inventions, et, en 1801, il publiait un Prospectus pour faire connaître qu'il pouvait, avec son appareil, fournir, par la décomposition du combustible, le chauffage, l'éclairage et la force motrice ; il annonçait en même temps qu'il en faisait la démonstration rue Saint-Dominique-Saint-Germain, dans sa maison éclairée au gaz de houille. Le public se contenta de regarder ce résultat comme une simple curiosité. Lebon, dont les ressources s'épuisaient, essaya, pour tirer parti de ses découvertes, d'organiser près de Rouen une usine pour distiller les bois. Dans cette application, il avait surtout en vue l'extraction des sous-produits et en particulier du goudron pour la marine. L'entreprise, difficile au début, commençait à produire des résultats, lorsque, appelé à Paris pour le sacre de l'empereur, en sa qualité d'ingénieur en chef des ponts et chaussées, Philippe Lebon fut assassiné aux Champs-Élysées dans la nuit du 2 décembre 1804.

M^{me} Lebon tenta bien de continuer les travaux de son mari ;

mais, volée d'une part, inexpérimentée de l'autre, elle n'en put retirer aucun avantage, et le public continua à rester indifférent, malgré une démonstration publique qu'elle fit en éclairant le passage Montesquieu. Cependant, en 1811, M^{me} Lebon avait reçu de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale un prix de 1200 francs *pour des expériences faites en grand sur les divers produits de la distillation du bois*. Ce prix fut accordé à la suite d'un remarquable rapport de d'Arcet, dont il est curieux de citer un passage : « Nous savons avec quel succès les Anglais ont appliqué chez eux l'heureuse idée qu'a eue M. Lebon de faire servir à l'éclairage le gaz hydrogène qui se dégage pendant la conversion du charbon de terre en coke. Ce procédé si économique est appliqué dans un grand nombre de fabriques anglaises, et il paraît même que l'on commence à en faire usage pour éclairer les rues de Londres et pour l'éclairage des phares et fanaux. Il est donc hors de doute que M. Lebon est l'inventeur de ces nouveaux procédés ; que les mêmes procédés sont aujourd'hui portés en Angleterre au plus haut point de perfection, et que sous ce rapport il ne reste rien à chercher ; qu'il ne faut plus en France, que les appliquer en grand pour en retirer les mêmes bénéfices que les Anglais en retirent. »

Et la question en resta là en France. M^{me} Lebon reçut de l'État une pension viagère de 1200 francs dont elle ne jouit pas longtemps : elle mourut en 1813.

Pendant qu'en France Lebon luttait contre l'indifférence de ses compatriotes, l'éclairage au gaz était appliqué en Angleterre par William Murdoch. Les écrivains anglais, Samuel Clegg entre autres, font remonter les premiers essais de Murdoch à 1792. Mais aucun renseignement bien authentique ne nous est parvenu prouvant qu'il ait trouvé un moyen pratique avant 1797, année dans laquelle il éclaira au gaz sa propriété d'Old Gunoch (Ayrshire), et ce n'est que vers 1798 qu'il fit une application sérieuse de l'éclairage au gaz.

Il avait inventé une voiture à vapeur, et la légende prétend que James Watt, qui apporta, comme nous l'avons vu, tant de



perfectionnements à la machine à vapeur à son usine de Soho, en entendit parler et se mit en route pour l'aller voir. Murdoch, qui désirait connaître les travaux de Watt, partit, de son côté. A moitié chemin, les deux inventeurs se rencontrèrent dans une auberge. La connaissance fut bientôt faite; ils s'entretenirent de leurs inventions et se décidèrent à unir leurs efforts. Quoi qu'il en soit, Murdoch vint à Soho et commença ses essais d'éclairage dans l'usine de Watt; mais, en réalité, les premiers appareils construits étaient imparfaits et ne donnèrent des résultats assez pratiques pour être complètement appliqués à l'éclairage qu'en 1805, année où l'usine de James Watt fut complètement éclairée par le gaz. La même année, Murdoch installait le gaz à la filature de MM. Phillips et Lee à Salford.

C'est pendant ces essais que Samuel Clegg, alors employé à Soho, fit son apprentissage de gazier. L'industrie du gaz lui est redevable de ses principaux perfectionnements: le lavage du gaz pour l'épurer, la condensation, le compteur, etc. Clegg fut chargé de la construction de l'usine à gaz de la filature de Henry Lodge, à Halifax. Le matériel de fabrication était encore très imparfait; le gaz était impur et répandait des émanations malsaines et infectes dans les locaux où on le brûlait. On ne pensait pas alors à une autre application que celle de l'éclairage des usines.

Vers cette époque, un Allemand, J.-A. Winzler, originaire de la Moravie, traduisit l'ouvrage de Lebon sur le thermo-lampe, et, parcourant diverses villes d'Allemagne, Hambourg, Brême, Vienne, il montrait comme une curiosité cette nouvelle invention. Il vint en Angleterre, où il connut les travaux de Clegg et Murdoch à l'usine de Soho. Comprenant l'avenir de cette industrie, il eut l'idée de créer des entreprises d'éclairage au gaz. Il donna à son nom la forme anglaise et se fit appeler Winsor, nom sous lequel il fut surtout connu. Après avoir organisé des sortes de représentations au théâtre du Lycéum, il prit un brevet en 1805 et chercha à fonder une société par actions. Audacieux, entreprenant et comptant sur l'esprit de spéculation des Anglais, il obtint la souscription

d'un capital de 50 000 livres. Mais, dénué de connaissances techniques, Winsor dépensa ce capital en essais de toutes sortes; puis il reconstitua une nouvelle société, qui tomba encore. Cependant il ne se découragea pas et parvint à obtenir du parlement une charte royale l'autorisant à éclairer la ville de Londres. Malgré une assez forte opposition et les difficultés pratiques considérables de la création d'un matériel complètement nouveau, la première usine d'éclairage public par le gaz fut établie dans Peter Street, grâce au concours de Samuel Clegg, que la Société eut la bonne inspiration de s'adjoindre.

La paroisse Sainte-Marguerite (Westminster), encouragée par les premiers résultats, traita avec la Compagnie pour l'établissement des lanternes à gaz, et, peu à peu, le public adopta le nouvel éclairage, qui progressa rapidement, car dès 1823 il existait déjà à Londres plusieurs usines à gaz.

Mais une industrie aussi nouvelle dans tous ses détails ne fut pas établie sans peine. L'histoire des difficultés qui se présentaient et qu'il fallait surmonter chaque jour serait curieuse à écrire comme exemple de la mise en pratique d'une invention. Les ingénieurs chargés des constructions et des installations durent sans cesse inventer des appareils et des procédés nouveaux.

Les ressources de fabrication manquaient alors absolument pour l'établissement de ce matériel qui, pour suffire à une industrie d'une importance inusitée jusqu'à ce jour, devait avoir des proportions considérables pour l'époque. Ces appareils étaient par suite très dispendieux à établir, parce que les fabriques n'avaient pas de moyens de production assez puissants : les cornues en fonte coûtaient 500 francs la tonne, les tuyaux 300 francs. Les ouvriers capables de construire et de monter ce matériel faisaient défaut, et le plus grave empêchement à l'installation provenait du manque de tuyaux de conduite, car les industriels ne voulaient pas entreprendre cette fabrication qui se faisait à la main et dans laquelle ils ne voyaient pas d'avenir. Aussi employait-on les canons de fusil (*gun barrels*) comme conduites; les robinets, les becs étaient



d'un prix très élevé, et les consommateurs hésitaient à prendre le gaz en raison des dépenses considérables de l'installation des appareils. Les premières canalisations à peine posées et la consommation augmentant rapidement, les premiers tuyaux devinrent insuffisants ; il fallut les remplacer par d'autres qu'à l'époque on considérait comme énormes : ils mesuraient 0^m,15 de diamètre ! Cependant il ne suffisait pas de conduire le gaz jusqu'aux maisons, il fallait le distribuer. Le gaz était d'abord vendu à forfait ; les consommateurs payaient leur éclairage d'après le nombre des brûleurs qu'ils établissaient, et ils s'abonnaient pour un nombre d'heures déterminé, d'où le nom, resté depuis, d'*abonnés* au gaz. Mais les usines n'y trouvaient pas leur compte, pas plus que les consommateurs, qui étaient souvent tracassés par la suppression du gaz lorsqu'ils en avaient encore besoin. Clegg inventa alors le compteur, qui permit de faire payer le gaz d'après le volume brûlé. Le premier compteur était fort imparfait ; il fallut des tâtonnements et des essais innombrables avant d'arriver à un appareil fonctionnant régulièrement.

Enfin toutes les difficultés furent vaincues et, comme nous le disions, Londres et les autres villes anglaises adoptèrent rapidement l'éclairage au gaz.

Winsor, encouragé par le succès obtenu en Angleterre, pensa à porter l'industrie du gaz en France. Il y prit un brevet en 1815, mais il rencontra encore plus de résistance qu'en Angleterre.

Malgré tous ses efforts, industriels, savants, hommes de lettres s'opposèrent à l'introduction du nouvel éclairage. Sans se décourager, il emploie la publicité en faisant paraître une traduction du traité d'éclairage au gaz d'Accum qu'il répand partout, puis fait une démonstration *de visu* en éclairant le passage des Panoramas et le Palais-Royal en 1817. Enfin il crée une société pour éclairer le Luxembourg et l'Odéon. Mais Winsor n'était pas administrateur, et la société fit faillite. Malgré cela, beaucoup de personnes furent frappées des avantages du gaz, de sa clarté et de la facilité de son emploi. Plusieurs essais particuliers eurent lieu,

qui habituèrent peu à peu à ce nouveau mode d'éclairage. Une usine fut construite en 1818 rue d'Enfer; l'hôpital Saint-Louis fut éclairé au gaz; une autre usine plus importante s'établit en haut du faubourg Montmartre.

Mais, dans l'industrie, un progrès n'a jamais lieu sans léser certains fabricants : les lampistes, les marchands d'huile et de chandelles, se voyant ruinés par l'installation du gaz, protestèrent contre lui de toutes leurs forces directement ou indirectement. De même, lorsqu'on établit les premiers chemins de fer, les marchands de chevaux déclarèrent l'élevage perdu en France. Clément Desormes, industriel cependant très distingué, publia une brochure où il montrait tous les inconvénients du gaz : « Si l'on suppose, disait-il, que l'éclairage au gaz ait été le premier connu et en usage partout et qu'un homme de génie nous présente une lampe d'Argand ou une simple bougie allumée, que notre admiration serait grande devant une si étonnante simplification ! Et s'il ajoutait que la lampe si éclatante de lumière est plus économique que l'ancien éclairage au gaz, celui-ci ne serait-il pas abandonné à l'instant. » On aurait pu lui répondre qu'à prix égal la lumière du gaz était trois fois plus économique et qu'il est plus agréable d'avoir simplement à tourner un robinet pour avoir de la lumière que d'avoir à préparer et à allumer une lampe. Ces protestations n'en avaient pas moins beaucoup d'influence sur le public, surtout lorsqu'elles étaient spirituelles, comme certain pamphlet que Charles Nodier fit aussi paraître à cette époque. Mais le progrès se fait jour quand même : le gaz se répandait peu à peu dans l'industrie et chez des particuliers qui en comprenaient les avantages. La municipalité parisienne, voyant que ce nouvel éclairage était plus économique et fonctionnait plus régulièrement tout en éclairant mieux, fit établir en 1819 les premières lanternes publiques au gaz rue de la Paix, rue de Castiglione et au Palais-Royal. Les premières compagnies créées rencontrèrent bien des obstacles; après la société fondée par Winsor, la société Pauwels fut autorisée, mais sans pouvoir surmonter les difficultés pratiques. Ce ne fut guère que vers



1825 que la Compagnie française commença à réaliser des bénéfices. D'autres sociétés se fondèrent successivement et établirent leurs usines à Passy, à Vaugirard, à Courcelles, etc. Ces usines éclairaient chacune une partie de Paris. Enfin, en 1855, la Compagnie parisienne réunit toutes ces sociétés en une seule, qui obtint du Conseil municipal le privilège de l'éclairage de Paris moyennant un cahier des charges renouvelé en 1861. Ce monopole prend fin en 1905.

En Allemagne, l'invention de Lebon fut rapidement connue par des traductions et donna lieu à de nombreux essais particuliers. Mais ce fut seulement en 1826 que la ville de Hanovre fut éclairée au gaz par la compagnie anglaise l'*Imperial continental gas Association*, qui avait pour but de porter sur le continent l'industrie du gaz et qui établit en effet un grand nombre d'usines en France, en Belgique, en Hollande, en Autriche; puis des spécialistes allemands se formèrent, Blochmann, Knoblauch, Schiele, von Tschoffen, qui construisirent successivement des usines à gaz.

Aujourd'hui l'industrie dont nous venons de suivre les débuts en France, en Angleterre et en Allemagne, est répandue dans le monde entier. Les premiers procédés se sont peu à peu perfectionnés; le gaz est obtenu dans de meilleures conditions de qualité et de prix; les sous-produits de la fabrication, tels que le coke, le goudron, les eaux ammoniacales ont trouvé non seulement leur emploi, mais encore sont devenus la source de nouvelles industries. Enfin, le gaz a su se plier à de nombreux usages pour l'éclairage, le chauffage et la force motrice.

Depuis peu un nouvel agent, l'électricité, menace de remplacer le gaz pour l'éclairage ainsi que pour la force motrice, et la lutte s'établit sur la question de prix de revient. L'industrie du gaz, un peu endormie, s'est réveillée depuis quelques années en présence de la concurrence; on a cherché et trouvé une utilisation plus parfaite. De nouveaux becs donnent un meilleur éclairage et les procédés de fabrication se sont améliorés pour abaisser le prix

de vente. Nous voyons le gaz se vendre avec bénéfices, à Londres, au prix de 0 fr. 11 le mètre cube; il est vrai que les charbons y sont payés très bon marché. A Paris, le gaz est à 0 fr. 30 le mètre cube; mais il pourrait être livré par la Compagnie parisienne à de meilleures conditions si la ville de Paris ne forçait pas la Compagnie à relever ce prix par un prélèvement considérable de 0 fr. 072 par mètre cube (19 millions en 1881).

Il est probable que ces prix s'abaisseront beaucoup, grâce à de nouvelles méthodes de fabrication, et si l'électricité, qui présente certains avantages pour l'éclairage, remplace le gaz dans nos lampes, le gaz à meilleur marché deviendra l'agent de chauffage par excellence dans nos foyers domestiques et industriels. Enfin, grâce à la possibilité de mieux utiliser les calories disponibles dans le gaz que dans le charbon, la machine à vapeur sera peut-être remplacée par le moteur à gaz,

Théorie de la fabrication du gaz.

Nous avons dit, en parlant de la houille, que lorsqu'on expose une substance combustible en vase clos à l'influence de la chaleur rouge, cette substance se décompose en une série d'éléments, les uns volatils, les autres fixes. Si les produits volatils sont dirigés à la sortie du vase où a lieu la décomposition dans un tube à l'extrémité duquel on présente une allumette enflammée, ces produits donnent une flamme plus ou moins éclairante. Toutes les substances organiques : le bois, la tourbe, les corps gras, etc., sont susceptibles de se décomposer ainsi et de fournir un gaz inflammable. Aussi, dans des cas spéciaux, a-t-on pu fabriquer du gaz avec des matières organiques de toute nature, généralement avec les résidus d'industries ou avec des substances que l'on avait sous la main sans posséder le moyen de les utiliser autrement. Nous n'avons à nous occuper ici que de la houille, qui du reste est la matière la plus employée pour la fabrication du gaz. Nous avons vu dans le

tableau de la composition des houilles, présenté au commencement de cet ouvrage, que ces combustibles sont susceptibles de donner à une même température des quantités de gaz très diverses, selon leur provenance. En effet, les rendements varient entre 20 et 35 mètres cubes de gaz par 100 kilogrammes avec les houilles employées dans l'industrie du gaz. En dehors de la quantité de gaz, il faut

tenir compte de la nature et de la quantité du coke, du pouvoir éclairant du gaz, des sous-produits obtenus, tels que le goudron et les sels ammoniacaux, dont l'importance est assez grande pour influencer sur le choix du charbon.

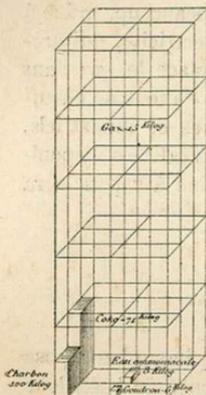


Fig. 26.
Diagramme des produits extraits de la houille.

De la température à laquelle a lieu la décomposition dépend la quantité et la nature des produits provenant de la distillation. Dans les usines à gaz, cette température de distillation varie entre 1000° et 1100° et correspond au rouge orangé clair. Certaines industries qui se proposent d'obtenir surtout des goudrons maintiennent la température à un degré beaucoup plus bas, vers 400° ou 450°; on obtient alors moins de gaz, et il est peu éclairant; le coke produit se vend difficilement, parce qu'il est trop friable et fumeux. Ce que l'on appelle une distillation

est une opération chimique très complexe, et aujourd'hui la théorie en est à peine déterminée exactement. Les produits volatils de la décomposition de la houille subissent à des températures élevées des dissociations et des combinaisons spéciales dont la discussion nous entrainerait trop loin dans ce volume. Nous sommes obligé de renvoyer aux ouvrages techniques de Clegg, Schilling, d'Hurcourt, etc., et à un remarquable mémoire de M. Gueguen, dans lequel ces phénomènes ont été analysés avec soin. Constatons seulement que si l'on soumet une houille à l'ana-



lyse élémentaire, on trouve pour moyenne des charbons de notre tableau, page 33 :

Carbone	79,0
Hydrogène.	5,0
Oxygène.	7,0
Azote	4,5
Soufre.	0,9
Eau hygrométrique	3,6
Cendres	3,0
	400,0

Ces charbons, distillés à la température ordinaire des cornues à gaz, produisent en moyenne, pour 100 kilogrammes :

Coke. 1 ^h ,7 pesant en moyenne 38 ^{kg} , soit	65 à 75 kilogrammes.
Gaz d'éclairage. 27 à 30 mètres cubes.	45 à 48 —
Goudron	4 à 6 —
Eau ammoniacale	6 à 7 —
Perte et acide carbonique, hydrogène sulfuré et divers absorbés par l'épuration.	4 à 9 —

Nous donnons ci-contre (fig. 26) l'indication des produits extraits de la houille, représentés en volume d'après les chiffres de la Compagnie parisienne. Ces chiffres sont très variables bien entendu dans la pratique ; mais, par un choix judicieux des charbons et avec des appareils bien établis, on obtient en général :

I. — Coke	74 kilogrammes.
II. — Eaux ammoniacales.	8 —
III. — Goudron	6 —
IV. — Gaz	45 —
	400 —

Ces quatre éléments de la distillation des charbons sont eux-mêmes complexes et il est intéressant d'étudier leur composition afin d'en extraire, soit par séparation pure et simple au moyen de la distillation, soit en les faisant entrer dans des combinaisons chimiques nouvelles dont la vente peut être avantageuse, des produits utilisables dans l'industrie ; on peut en outre tirer de cette étude des conclusions fort importantes au point de vue même de la fabri-



cation du gaz. Wagner, dans sa chimie, donne la nomenclature suivante des corps qui constituent les éléments de la distillation :

I. — COKE.		Carbone 90 à 95 Sulfure de fer (Fe ⁷ S ⁸) } Éléments terreux } 40 à 5	<hr/> 100
II. — EAUX AMMONIACALES		Éléments principaux { Carbonate d'ammonium. . . 2(AzH ⁴) ² CO ³ +CO ² Sulfure d'ammonium . . . (AzH ⁴) ² S Éléments accessoires { Chlorure d'ammonium. . . AzH ⁴ Cl Cyanure d'ammonium. . . AzH ⁴ C Az Sulfocyanure d'ammonium. AzH ⁴ C Az S	
		Éléments constituant du brai. { Anthracène. Résine pyrogénée. Charbon.	
		Acides et éthers. { Phénol (monoxybenzine) C ⁶ H ⁶ O Crésol } Orthocrésol } C ⁷ H ⁸ O Paracrésol. } Metacrésol. } Phlorol C ⁸ H ¹⁰ O Acide rosolique C ²⁰ H ¹⁶ O ³ Acide oxyphénique. C ⁶ H ⁶ O ² Créosote composée des trois corps homologues. } } C ⁷ H ⁸ O ² } C ⁸ H ¹⁰ O ² } C ⁹ H ¹² O ²	
III. GOUDRONS.		Liquides { Benzine C ⁶ H ⁶ Toluène C ⁷ H ⁸ Xylène. C ⁸ H ¹⁰ Pseudocumène C ⁹ H ¹² Cymène C ¹⁰ H ¹⁴ Propyle C ³ H ⁷ Butyle. C ⁴ H ⁹ etc.	
		Hydrocarbures { Naphtaline C ¹⁰ H ⁸ Acétylnaphtaline . . . } Diphenyle } C ¹² H ¹⁰ Fluorène. C ¹³ H ¹⁰ Solides { Anthracène. } Phénanthracène. . . . } C ¹⁴ H ¹⁰ Méthylantracène . . . C ¹⁵ H ¹² Réline. C ¹⁶ H ¹² Chrysène. C ¹⁸ H ¹² Pyrène. C ¹⁶ H ¹⁰	



<p>III. Goudrons. (Suite.)</p>	<p>} Bases</p>	<p>{</p>	<p>Pyridine C⁸H⁵Az Aniline C⁶H⁷Az Picoline C⁶H⁸Az Lutidine C⁷H⁹Az Collidine C⁸H¹¹Az Leucoline C⁹H⁷Az Iridoline C¹⁰H⁹Az Cryptidine C¹¹H¹¹Az Acridine C¹²H⁹Az Coridine C¹⁰H¹³Az Rubidine C¹⁴H¹⁷Az Viridine C¹²H¹⁹Az etc.</p>
<p>IV. — GAZ D'ÉCLAIRAGE.</p>	<p>} Éléments éclairants</p> <p>} Éléments non éclairants</p> <p>} Éléments qui altèrent la pureté du gaz</p>	<p>{ Gaz</p> <p>{ Vapeurs</p> <p>{</p>	<p>Acétylène C²H² Éthylène C²H⁴ Propylène C³H⁶ Butylène C⁴H⁸ Benzène C⁶H⁶ Styrolène C⁸H⁸ Naphtaline C¹⁰H⁸ Acétylnaphtaline C¹²H¹⁰ Fluorène C¹³H¹⁰ Propyle C³H⁷ Butyle C⁴H⁹ Hydrogène H² Gaz des marais (méthane) CH⁴ Oxyde de carbone CO Acide carbonique CO² Ammoniaque AzH³ Cyanogène CAz Sulfocyanogène CAzS Hydrogène sulfuré SH² Carbures d'hydrogène sulfurés et sulfure de carbone S²C Azote Az</p>

L'examen de ce tableau, au point de vue de la fabrication pratique du gaz, montre de suite que dans le gaz d'éclairage certains éléments sont des vapeurs qui viennent concourir à augmenter son pouvoir éclairant, et que plusieurs de ces vapeurs utiles se retrouvent dans le goudron. Cette simple observation, qui ne pou-

vaît être faite que depuis les études approfondies de ces dernières années sur la constitution du gaz, indique qu'il y a lieu de condenser seulement les parties du goudron qui n'ajouteraient pas au pouvoir éclairant, et que, par conséquent, la condensation doit être faite dans certaines conditions spéciales sur lesquelles nous aurons l'occasion de revenir.

Nous voyons également dans ce tableau que plusieurs éléments non nuisibles ne concourent pas à rendre le gaz plus éclairant; mais y a-t-il intérêt à les enlever pour obtenir un gaz meilleur? La discussion de cette question, qui est une des plus importantes dans la pratique, nous entraînerait à rechercher si le fabricant et même le public ont intérêt à la production de gaz très riches. Au premier abord, le consommateur sera de cet avis; mais alors il devrait payer le gaz plus cher, sinon le fabricant ne pourrait le lui fournir. D'autre part, les gaz très riches traversent au moins aussi facilement que les gaz pauvres les joints défectueux des canalisations, et comme cette perte, malgré les plus grands soins, atteint 5 à 10 pour 100 dans les meilleures conduites, la valeur du gaz perdu serait d'autant plus grande que le gaz serait plus éclairant; par suite, la consommation de gaz trois ou quatre fois plus éclairants étant trois ou quatre fois moins grande, la perte serait considérable pour le fabricant qui se trouverait ainsi obligé de chercher une compensation par la surélévation du prix de vente.

Enfin, en raison de l'emploi de plus en plus répandu du gaz pour la force motrice et pour le chauffage, plusieurs de ces éléments non éclairants, tels que l'hydrogène et l'oxyde de carbone, étant combustibles, il y a lieu de les conserver dans le gaz. Si l'on voulait les séparer pour les faire servir à des usages particuliers, il y aurait à écarter une double difficulté : d'abord l'insuffisance des moyens actuels de fabrication, ensuite l'augmentation du prix de vente résultant de la nécessité d'établir une double canalisation.

Les éléments qui altèrent la pureté du gaz sont évidemment à supprimer autant qu'il est possible de le faire, et l'épuration a justement pour but de les éliminer.

Ainsi nous constatons tout d'abord que les produits de la décomposition de la houille par distillation dans les cornues sont solides, liquides et gazeux. Les uns sont à conserver, les autres doivent être éliminés. Le coke reste dans la cornue et sa pureté, c'est-à-dire la proportion de carbone qu'il contient, est variable ; c'est au fabricant à choisir les charbons donnant les cokes les plus purs ; la distillation n'y peut rien. Les eaux ammoniacales se séparent par refroidissement, et les usines ont tout intérêt à les recueillir, en raison de leur valeur de plus en plus considérable depuis qu'on les emploie comme engrais artificiels en agriculture ; aujourd'hui beaucoup d'usines, même parmi les plus petites, possèdent des dispositifs pour les utiliser.

Les goudrons présentent des éléments solides et d'autres liquides, les premiers toujours en dissolution ou en suspension dans les seconds. Mais, parmi eux, beaucoup sont assez volatils pour rester en suspension à l'état de vapeur dans le gaz ; il est même probable qu'ils ne sont pas seulement en suspension, mais encore à l'état de dissolution, puisque les plus grands froids n'arrivent pas à les séparer. Du reste, la nature et les proportions relatives des divers éléments varient avec les charbons distillés et la température de décomposition. Il y a donc une opération très délicate à réaliser pour le fabricant : condenser les goudrons et en séparer les parties nuisibles avant l'épuration, tout en conservant dans le gaz les principes utiles.

Enfin le gaz séparé des produits condensables physiquement, est épuré, c'est-à-dire qu'on en élimine, par des réactions chimiques, les éléments nuisibles qui le rendraient non seulement peu éclairant, mais encore malsain ou susceptible en brûlant de donner des produits vénéneux ou capables d'abîmer les locaux qu'il doit éclairer ; mais, d'un autre côté, l'épuration ne doit pas en diminuer le pouvoir éclairant. La fabrication du gaz de houille devra donc comprendre : la décomposition de la houille ou distillation dans des appareils appropriés permettant de la soumettre à une haute température ; la condensation des produits liquides de la



distillation; l'épuration ou élimination des éléments nuisibles.

Après cela, le gaz est emmagasiné pour être ensuite distribué aux consommateurs qui l'emploieront soit pour l'éclairage, soit pour le chauffage, soit pour actionner des moteurs. Nous allons passer en revue ces diverses opérations et nous dirons quelques mots des applications diverses du gaz, en indiquant les appareils les plus pratiques pour son emploi.

Fabrication du gaz.

Si l'on entre dans une usine à gaz, on y trouve bien nettement séparés les divers appareils qui servent à réaliser les opérations que nous venons d'énumérer. Nous prendrons le gaz au moment de sa production et nous le suivrons à travers les dispositifs qui lui enlèvent les matières étrangères jusqu'aux gazomètres qui l'emmagasinent.

DISTILLATION. — Comme nous l'avons vu, la distillation est une opération qui a pour but de produire la décomposition de la houille à haute température pour en obtenir du gaz mélangé de produits que l'on en sépare par une série d'opérations ultérieures.

Nous avons dit également que les houilles commencent à dégager des produits volatils vers 100° et qu'en pratique il n'y a lieu de considérer pour l'industrie du gaz que la distillation au rouge orangé. En effet, à cette température, il se produit peu d'hydrocarbures liquides à points d'ébullition élevés et beaucoup d'hydrocarbures volatils qui, mélangés aux produits gazeux, viennent en augmenter le pouvoir éclairant; en outre, la quantité de gaz obtenue est beaucoup plus grande. Cependant, il n'y a pas lieu de pousser trop loin la température de distillation, car les hydrocarbures riches se décomposeraient à leur tour et le gaz obtenu ne serait plus assez éclairant. B. Marchand a démontré expérimentalement cette décomposition à haute température en faisant passer du gaz oléifiant à travers un tube chauffé à des températures crois-

santes et en dosant le carbone contenu dans le gaz qui l'avait traversé; il a trouvé en poids :

		Pour 100 d'hydrogène.	
		—	
Gaz oléifiant.		600 parties de carbone.	
4 ^{er} essai	Rouge fondant.	580	—
2 ^e —	—	533	—
3 ^e —	—	472	—
4 ^e —	—	367	—
5 ^e —	Rouge blanc.	325	—
6 ^e —	—	307	—
7 ^e —	Gaz des marais.	300	—
8 ^e —	Blanc vif persistant.	7	—

Le carbone qui disparaît se dépose dans le tube sous forme de masses de graphite, que, dans les usines à gaz, on appelle charbon de cornues. Ainsi la distillation devra se produire à une température telle que le maximum de carbures volatils soit obtenu, mais sans atteindre le point où ils commencent à se dissocier.

Lorsque l'on introduit le charbon dans les cornues chauffées au rouge, il est à la température ambiante et n'atteint lui-même le rouge orangé qu'au bout d'un certain temps et tout d'abord aux dépens de la température des parois des cornues. Aussi le gaz obtenu pendant la première période de la distillation, et qui est produit en quelque sorte à basse température, est-il très chargé d'hydrocarbures lourds facilement condensables. Peu à peu, la masse de charbon s'échauffe, la quantité de gaz augmente, et finalement, comme la température des fours est supérieure en pratique au rouge orangé, les gaz obtenus ne sont que peu éclairants vers la fin de l'opération. En outre, certaines houilles se décomposent plus rapidement que d'autres et la durée de la distillation dans les cornues ordinaires, pour une même température et une même masse de charbon, varie depuis trois heures avec le boghead, trois heures et demie avec le cannel, jusqu'à six heures avec certaines houilles très grasses; les houilles maigres sont celles qui se décomposent le plus rapidement.



Schilling a fait une série d'expériences sur des houilles de diverses provenances, et il a trouvé que la quantité de gaz produite dans des cornues en terre se répartit comme suit pour 100 volumes :

PROVENANCE DES CHARBONS.	QUANTITÉS DE GAZ PRODUITES.				
	1 ^{re} HEURE.	2 ^e HEURE.	3 ^e HEURE.	4 ^e HEURE.	5 ^e HEURE.
Houille de Westphalie. Hibernia.	30,54	28,91	22,39	13,36	4,80
— Sarrebruck. Dutweil bure Skaley . . .	34,58	33,36	27,57	4,49	»
— Zwickau. Bürgergewerkschaft.	30,96	31,34	23,61	13,20	0,89
— Silésie. Bure Wrangel	35,79	28,51	22,75	10,86	2,09
— Saxe. Mine de Plaßen.	39,50	32,59	21,94	5,97	»
— Bohême. Bassin de Pilsen.	35,23	33,93	28,28	7,56	»
— Bavière. De Swaine à Stockheim. . . .	26,28	22,16	19,97	23,31	8,28
— Grande-Bretagne, old Pelton Main. . .	26,45	20,09	22,68	21,18	9,60
Moyennes.	32,41	28,86	23,65	12,49	3,20

Si l'on recueille les gaz obtenus pendant ces diverses périodes, on trouve, à partir de la première heure, des produits gazeux dont la nature varie constamment jusqu'à la fin, en raison justement de la variation de la température dont nous parlions plus haut. En outre, les conditions dans lesquelles les décompositions se produisent se modifient du commencement à la fin : le gaz qui traverse d'abord des couches de charbon froid rencontre ensuite, lors de sa formation vers la fin de l'opération, des couches de coke incandescent; les gaz obtenus sont donc sans cesse différents. Voici, d'après les essais d'Erdmann, les densités successives des gaz recueillis :

	1 ^{re} heure.	2 ^e heure.	3 ^e heure.	4 ^e heure.	5 ^e heure.	6 ^e heure.
Densité	0,60	0,52	0,43	0,37	0,37	0,30

La composition du gaz, d'après les expériences de Berthelot, suit la variation suivante :

	C^2H^4	CH^4	H	CO	Az	Totaux.
1 ^{re} heure.	43,0	82,0	0,0	3,2	4,8	400,0
2 ^e —	12,0	72,0	8,8	4,9	5,3	»
3 ^e —	12,0	58,0	16,0	12,3	4,7	»
4 ^e —	7,0	56,0	24,3	11,0	4,7	»
5 ^e —	0,0	20,0	60,0	10,0	10,0	»
Moyenne.	8,8	57,6	21,2	7,7	4,7	400,0

Les carbures absorbables par le brome diminuent à mesure que la distillation avance, tandis que la proportion d'hydrogène s'accroît ; aussi la puissance calorifique des derniers gaz obtenus est-elle beaucoup plus grande. Cette quantité d'hydrogène explique l'abaissement de la densité du gaz produit à la fin de l'opération et la diminution de son pouvoir éclairant. L'acide carbonique, élément non éclairant et nuisible qu'il convient d'éliminer, se forme à une température relativement basse. D'après Bahe, on en trouve dans le gaz non épuré d'une houille de Westphalie :

1 ^{re} heure.	2 ^e heure.	3 ^e heure.	4 ^e heure.
2,00 pour 100	0,60 pour 100	0,10 pour 100	0,00 pour 100

Dans des houilles à 4 pour 100 d'oxygène, l'acide carbonique total n'est que de 1,5 pour 100, tandis que dans les houilles de Zwickau à 10 pour 100 d'oxygène, il monte à 3 ou 4 pour 100. L'ammoniaque trouvée dans le gaz brut, moyenne résultant de l'analyse de gaz de houilles diverses, est :

1 ^{re} heure.	2 ^e heure.	3 ^e heure.
0,41 pour 100	0,91 pour 100	0,76 pour 100

L'hydrogène sulfuré trouvé dans le même gaz est :

1 ^{re} heure.	2 ^e heure.	3 ^e heure.
0,55	0,52	0,26

En s'appuyant sur les résultats d'expériences de ce genre, le fabricant pourra tirer des conclusions générales sur la manière de diriger la distillation de la houille, et ces conclusions l'amèneront à extraire du charbon employé et étudié avant de l'adopter, des quantités de gaz de qualité et de pureté aussi grandes que possible.

Il est évident, d'après les chiffres cités ci-dessus, que la température moyenne à laquelle le charbon sera soumis devra atteindre, mais ne pas dépasser le rouge orangé. La durée de la distillation sera de trois à cinq heures, selon la nature des charbons. Il faudra donc vérifier tout d'abord, par un essai préalable, la durée la plus convenable à adopter. Dans certains cas, cette durée a une grande importance pratique, en dehors de la qualité du gaz ; car si, dans un espace de vingt-quatre heures, on doit fournir un volume déterminé de gaz à la consommation et que la distillation dure cinq heures, il est évident qu'on ne pourra charger les cornues que quatre fois ; tandis que si le charbon se décompose en trois heures et demie, les mêmes cornues pourront être rechargées six fois, c'est-à-dire qu'un même matériel aura une puissance de fabrication beaucoup plus grande dans le second cas.

Les produits à éliminer devront être reçus d'une façon continue et régulière dans des appareils spéciaux constamment en état de fonctionner, puisque ces produits sont dégagés pendant toute la durée de la fabrication.

Nous allons examiner maintenant quels sont les appareils de distillation employés pour assurer la puissance et la régularité du chauffage.

Le charbon à distiller est introduit dans des appareils appelés *cornues*. Ce sont des cylindres allongés à section circulaire, elliptique, ou plus généralement aujourd'hui en forme de \cap .

Les cornues employées primitivement étaient en fonte. En 1820, Crafton proposa les cornues en terre réfractaire, qui, après de nombreux essais et des perfectionnements dans la nature des terres employées, ont fini par être généralement adoptées à l'exclusion des cornues en fonte.

Les premières étaient moins sujettes à se fissurer et conduisaient mieux la chaleur ; mais elles étaient coûteuses et ne supportaient pas une température suffisante. Les cornues en terre sont à plus bas prix et résistent à de très hautes températures ; mais elles se fendent facilement et en outre, au commencement de leur mise en feu, elles sont très poreuses.

On a remédié à ce grave inconvénient en faisant usage des *extracteurs*, appareils dont nous parlerons plus loin, qui ont pour but d'enlever le gaz au fur et à mesure de sa production et ne maintiennent dans les cornues qu'une pression juste assez grande pour que les gaz du foyer n'en traversent pas les parois. D'un autre côté, le graphite qui se dépose dans les pores de la terre finit par les rendre suffisamment imperméables pour que leur service soit excellent, même sans extracteurs. Certains fabricants, tels que MM. de Lachomette et C^{ie}, ont soin de couvrir leurs cornues d'un enduit spécial qui les rend imperméables dès la mise en feu.

Les praticiens ont pendant longtemps discuté les formes à donner aux cornues. La section circulaire est presque complètement abandonnée. La section elliptique, qui permet de les loger plus facilement en groupes dans un four, leur donne une certaine solidité ; elles sont aussi plus faciles à dégraphiter. Les cornues en \sphericalangle plus ou moins aplati ont l'avantage de se placer plus facilement lors du montage et le charbon, qui ne doit pas être en couche de plus de 12 centimètres d'épaisseur, s'y étale surtout plus régulièrement, ce qui est essentiel pour une bonne distillation. Du reste, cette forme est presque généralement adoptée ; aujourd'hui, les techniciens de France, d'Angleterre, d'Allemagne sont d'accord pour ne plus admettre que ce modèle.

Les dimensions des cornues sont très variables ; la largeur varie entre 0^m,25 et 0^m,70, la longueur entre 1^m,50 et 3^m,50 ; leur hauteur ne dépasse que rarement 0^m,40 ; l'épaisseur des parois varie de 5 à 7 centimètres. A la tête, elles ont toutes un renflement qui permet d'y adapter, au moyen de boulons, une pièce de fonte appelée tête de cornue, sur laquelle existe une tubulure pour la

sortie des gaz et à laquelle on applique une porte en tôle ou en fonte pour la fermeture lorsque le charbon est chargé.

Les cornues, quelle que soit leur forme, sont disposées horizontalement dans des fours en briques réfractaires. On a essayé quelquefois de les établir verticales ou inclinées (mais ce sont des cas spéciaux) en vue de faciliter le chargement et le déchargement. Il existe des fours à 1, 2, 3, 4, 5, jusqu'à 11 cornues, selon les besoins et l'importance des usines et le terrain dont on dispose. Les fours les plus courants contiennent 7 cornues.

Quel que soit le nombre des cornues, les fours sont tous établis sur une même ligne, ce qui offre l'avantage d'augmenter leur solidité, tout en ayant moins de déperdition de chaleur par les parois et plus de facilité pour le service. Dans les grandes usines on adosse deux lignes de fours.

Tous les fours sont constitués par une chambre en briques réfractaires composée de pieds-droits réunis par une voûte plus ou moins surbaissée, par un mur de fond contre lequel s'applique le bout des cornues et par un mur de façade à travers lequel passent les têtes. Les cornues sont supportées dans le four par des dispositifs en briques ou des blocs de terre réfractaire de formes spéciales. Chaque constructeur peut varier ces formes; mais, dans tous les cas, on a soin de les disposer de manière à faire circuler les flammes le plus longtemps possible autour des parois et d'égaliser la température sur toute la longueur.

Autrefois on cherchait à resserrer les cornues pour utiliser le mieux possible l'espace dont on disposait et l'on pensait que le chauffage était meilleur. Aujourd'hui, on a une tendance contraire. En effet, on a reconnu que les espaces trop restreints entre les cornues s'encrassaient rapidement, qu'il n'était pas facile de les nettoyer et que la section totale des vides autour des cornues n'était pas suffisante pour le développement des flammes. Il en résultait que des gaz non brûlés étaient entraînés en assez grande quantité en dehors du four et ne servaient qu'à chauffer la cheminée de l'usine, ce qui n'était pas précisément le but à atteindre.

Les cornues disposées dans les fours sont chauffées soit par des foyers placés directement au-dessous d'elles, soit par des générateurs à gaz. Pendant assez longtemps, les gaziers ont été indécis sur l'efficacité des générateurs à gaz; aujourd'hui, presque tous sont d'accord pour les adopter. En effet, les avantages qu'ils présentent sont tellement nombreux qu'il n'y a lieu d'hésiter que dans des cas particuliers.

Il est tout d'abord certain que le chauffage ne peut se faire à la houille avec les gazogènes. Or, quelquefois, l'usinier a plus d'avantage à se servir de ce combustible, s'il peut se le procurer à bon marché et s'il vend son coke à un prix élevé; c'est un compte à faire. Certains fabricants ont voulu transformer des fours chauffés au charbon en fours à générateurs. Ceux-ci consommaient une quantité de coke vendable dont la valeur était beaucoup plus grande que la dépense de charbon nécessitée antérieurement; c'était évidemment une économie mal comprise.

Lorsqu'un four ne fonctionne pas d'une façon continue, comme cela a lieu dans des usines à gaz desservant une industrie isolée, le gazogène, qui doit marcher sans interruption, ne peut pas être employé.

En dehors de ces conditions, le gazogène est avantageux à cause de l'économie qu'il procure au point de vue de la consommation du coke de chauffage et de la diminution de la main-d'œuvre pour l'entretien des fours. En outre, les flammes sont exemptes de cendres et les cornues ne sont pas exposées à être attaquées par elles. Enfin les fours ne s'encrassent plus et la régularité du chauffage est absolue.

Pendant longtemps, la dépense occasionnée par l'établissement des générateurs a fait reculer les industriels; mais aujourd'hui, avec les gazogènes mixtes dont les premiers ont été, croyons-nous, établis par MM. Eichebrenner et Muller, toute usine, si petite qu'elle soit, peut les employer pour le chauffage de ses fours.

Nous décrirons, à titre d'exemple, trois types de fours : à



chauffe directe, à gazogènes pour grandes usines et à chauffage mixte pour usines moyennes et petites.

La figure 27 représente un four à trois cornues, chauffé directement par un foyer ordinaire; la grille est placée sous la cornue du milieu. Les flammes circulent d'avant en arrière dans le vide existant entre les cornues, puis reviennent en avant jusqu'à des cheminées descendantes qui rejoignent un carneau horizontal pratiqué derrière le four, et enfin vont gagner la cheminée de l'usine. La grille est formée de barreaux en fonte reposant par leurs extrémités sur deux pièces également en fonte, appelées sommiers.

On a soin, lors de la construction, de laisser un certain espace à l'extrémité des barreaux pour qu'ils puissent se dilater pendant le chauffage et pour éviter que les cendres, s'accumulant en ces points, ne viennent empêcher la dilatation.

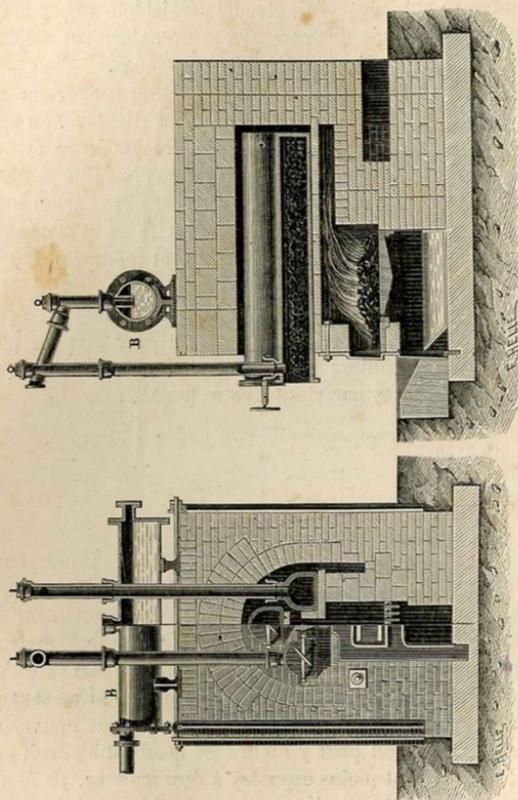
Au-dessous de la grille, on place une caisse en fonte, sorte d'auge que l'on aura soin de maintenir toujours pleine d'eau. La vapeur produite refroidit constamment les barreaux; elle est entraînée avec l'air appelé pour la combustion et vient se décomposer au contact du coke incandescent en produisant de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone. Ces gaz brûlent ensuite en présence de l'air en excès et viennent concourir au chauffage. De temps en temps, il faut avoir soin de retirer les cendres et les escarbilles qui tombent dans l'eau de la cuvette en fonte.

Les fours à gaz, fortement chauffés, se disloqueraient rapidement, si l'on n'avait le soin de les maintenir avec des armatures verticales en fer ou en fonte, reliées entre elles par des tirants en fer rond.

L'établissement de tous les fours à chauffe directe, quel que soit le nombre des cornues, repose sur la même idée : faire circuler les produits de la combustion le long des parois des cornues le plus longtemps possible, de façon à bien utiliser leur chaleur. Lorsque le four contient 7 cornues, on en place 5 au-dessus du foyer et une de chaque côté.

Le foyer des fours à gaz est généralement étroit, long et pro-

fond ; la surface de la grille est faible et le combustible, surtout si c'est du coke, est en couche épaisse. Les meilleures conditions de



B. — Profil et coupe en travers.

Fig. 27. — Four à chauffe directe.

A. — Face et coupe en long.

marche sont celles dans lesquelles la quantité d'air arrivant sous la grille est strictement suffisante pour qu'il ne se forme à la surface



du coke que de l'oxyde de carbone. Ce gaz brûle, au-dessus de la couche de coke, en se transformant en acide carbonique sous les cornues, grâce à une arrivée d'air chauffé préalablement par la chaleur perdue du four dans des carnaux convenablement disposés. C'est l'idée primitive de l'application des gazogènes.

Si l'on examine les dimensions des grilles en usage, on constate des écarts considérables pour les surfaces adoptées. En général, on admet des grilles de 20 à 30 centimètres de large et 60 à 90 centimètres de long, selon la nature du combustible brûlé et l'intensité du tirage. Des moyennes relevées par nous sur un grand nombre de fours nous ont donné : pour les fours à 3 cornues, 0^m2,12; pour les fours à 5 cornues, 0^m2,22, et pour les fours à 7 cornues, 0^m2,30.

La quantité de coke brûlé par vingt-quatre heures est également très variable; elle peut aller de 20 à 40 pour 100 du poids du charbon distillé. Schilling indique comme approximatives les consommations suivantes par vingt-quatre heures :

4000 à 4200 kilogrammes de coke pour un four à 7 cornues.			
900 à 1100	—	—	6 —
700 à 900	—	—	5 —
600 à 700	—	—	3 —
490 à 600	—	—	2 —

Cette importante question de la quantité de coke brûlé pour le chauffage est une de celles qui ont fait adopter depuis quelques années les gazogènes. Ces derniers donnent, non seulement des réductions considérables sur le poids de coke consommé, mais encore ils fournissent une chauffe régulière en même temps qu'une économie de main-d'œuvre. En outre, les cornues qui ne sont pas soumises à des refroidissements brusques causés par l'ouverture de la porte du foyer, soit pour y mettre du combustible, soit pour dégrasser la grille, sont moins exposées à être fendues. Le four et les carnaux ne s'encrassent plus par les cendres entraînées par la flamme et les cornues elles-mêmes qui étaient rongées par les alcalis contenus dans ces cendres, lesquelles formaient des sili-

cates fusibles, ont une plus grande durée. Enfin la distillation est beaucoup plus régulière, la chauffe n'éprouvant plus de variations par suite de la négligence des chauffeurs.

La figure 28 représente un four à gaz avec générateur Siemens et

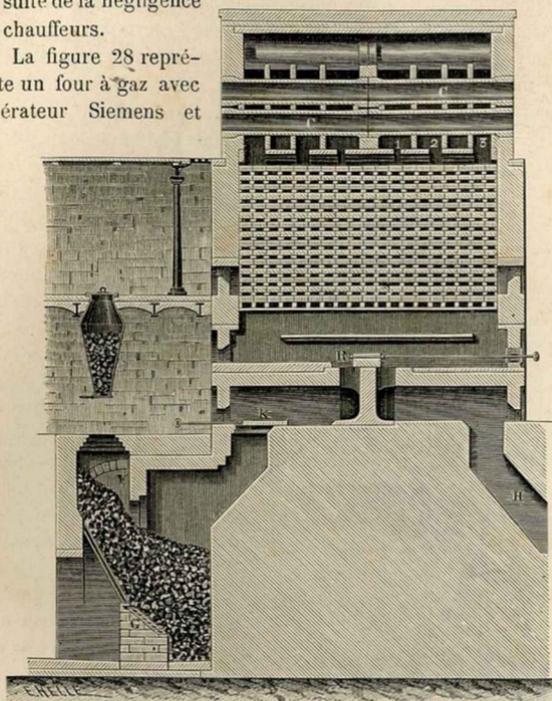


Fig. 28. — Four à gaz avec générateur Siemens et récupérateur de chaleur.

récupérateur de chaleur. Le coke versé dans le générateur V s'accumule en talus ayant plus de 1 mètre de hauteur sur la grille G, formée de barreaux en escalier à travers lesquels passe l'air néces-

saire. Le coke incandescent, au contact de l'air qui traverse les barreaux, forme avec l'oxygène de l'air de l'acide carbonique qui se transforme ensuite en oxyde de carbone en traversant la couche supérieure de coke. Cet oxyde de carbone s'élève avec une vitesse réglée par les registres K et R, se mélange avec de l'air atmosphérique amené par des conduits spéciaux et vient s'enflammer sous les cornues C, en passant par les ouvertures 1-2-3, après avoir chauffé les cornues. Les gaz brûlés redescendent ensuite par les

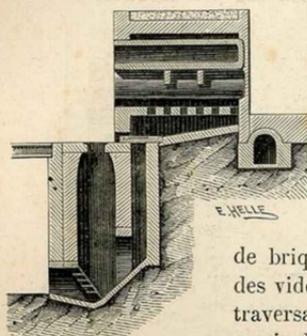
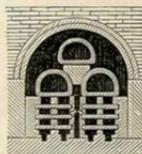


Fig. 29. — Four à gazogène et récupérateur, système Lerat.



récupérateurs et sortent par H, vers la conduite générale qui va à la cheminée de l'usine.

En D est un récupérateur de chaleur composé d'un entassement régulier

de briques réfractaires laissant entre elles des vides par où passent les gaz qui, en les traversant, abandonnent la plus grande partie de la chaleur qu'ils possèdent encore. Ces récupérateurs sont disposés par paires, de telle sorte que le premier ayant été chauffé pendant une heure par les gaz brûlés,

on dirige au bout de ce temps ces gaz sur le second ; le premier, qui a ainsi atteint une haute température, est alors traversé par l'air froid qui vient se mêler à l'oxyde de carbone servant à la combustion, pendant que le second récupérateur s'échauffant servira une heure après, par un renversement de sens des courants gazeux, à chauffer l'air nécessaire. Ces renversements de sens des courants sont produits par des registres convenablement disposés. Le four représenté figure 28 est établi à l'usine de Saint-Mandé par la Compagnie parisienne. On y remarquera les cornues, au nombre de 16, opposées bout à bout. Le foyer étant supprimé, on a pro-

fité de l'espace laissé libre pour y placer une cornue de plus.

Ce modèle de four, créé par Siemens, est un des premiers et des plus répandus. Mais, depuis quelques années, un grand nombre de constructeurs ont cherché à simplifier la construction de ces fours dont le prix est assez élevé et à réduire au minimum la quantité de coke consommé. D'après un remarquable mémoire de M. Drory, présenté au congrès de la Société technique du gaz en 1886, les fours à gazogène du système Oechelhauser, Liegel, Munich, Didier, Vacherot arrivent à ne dépenser que de 11 à 15 kilogrammes de coke par 100 kilogrammes de houille distillée, en donnant ainsi une économie de 9 à 25 kilogrammes sur le chauffage par foyers ordinaires, sans parler des autres avantages énumérés plus haut.

Presque tous les constructeurs ont cherché à éviter le reproche de l'élévation du prix de revient, afin que ce système de chauffage puisse être appliqué même aux petites usines. Nous donnons comme exemple d'un dispositif très simple, pouvant être appliqué aux fours existants, que l'on peut ainsi transformer sans grande dépense, le four à gazogène et récupérateur du système Lerat (fig. 29). Nous l'appelons four mixte, parce que n'exigeant pas la construction de fours spéciaux (les anciens peuvent être transformés), mais simplement l'adjonction d'un gazogène très simple, il procure les avantages d'un appareil gazogène complet. Nous avons vu dans le four à grille Siemens le foyer formé d'une chambre à parois inclinées. Dans le système Lerat, on établit, devant la porte du four, le gazogène en forme de cuve en briques réfractaires; une grille formée de barreaux en escaliers est installée au bas de cette cuve et permet ainsi l'entrée de l'air nécessaire à la combustion. L'oxyde de carbone produit s'élève jusqu'à la partie inférieure du four où il rencontre un peu au-dessous des cornues l'air chauffé par les gaz brûlés au moyen de carneaux convenablement disposés sans qu'il soit besoin de renversement de direction des courants gazeux.

Chauffage au goudron. — Dans certains cas, les usines à gaz ont été embarrassées de leur goudron, et, pour en tirer parti,



on a souvent été obligé de les employer pour le chauffage des cornues. Bien des dispositifs ont été proposés : les uns brûlent le goudron lancé à l'état de brouillard au moyen d'un pulvérisateur à jet de vapeur; les autres emploient des grilles formées de

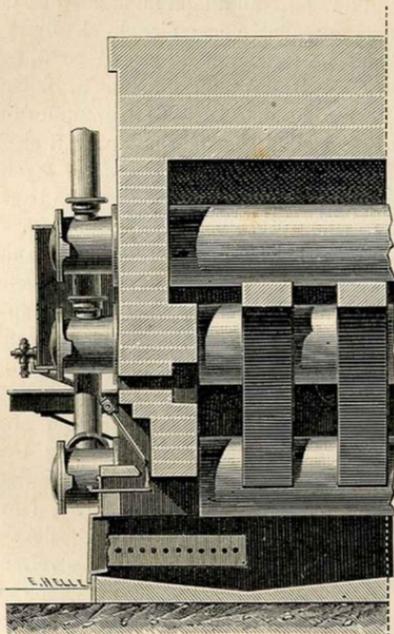


Fig. 30. — Four Horn.

barreaux inclinés portant une rigole du côté du four. Un des moyens les plus simples consiste à faire couler le goudron en filet sur le coke du foyer ou simplement sur une dalle de terre réfractaire qui remplace la grille. La figure 30 représente, d'après Horn, un modèle de foyer employé à Brème pour le chauffage au goudron.

Le foyer est complètement clos par la porte qui est traversée par un tuyau qui amène le goudron; celui-ci tombe sur un fer plat où il s'enflamme. La grille est remplacée par un dallage en briques réfractaires, et l'air né-

cessaire à la combustion arrive par des orifices placés sur les côtés du foyer.

D'après les indications de Horn, 100 kilogrammes de goudron équivalent à 200 kilogrammes de coke.

Quel que soit le système de chauffage employé, la condition

essentielle est de maintenir les cornues à une température constante. Nous venons de voir les moyens qui permettent d'arriver à ce résultat d'une façon économique; maintenant suivons le gaz depuis sa production.

Têtes de cornue.

— Les cornues en terre portent du côté extérieur des pièces en fonte appelées têtes de cornue, sur lesquelles sont (venues de fonte généralement) des tubulures par lesquelles le gaz se dégage.

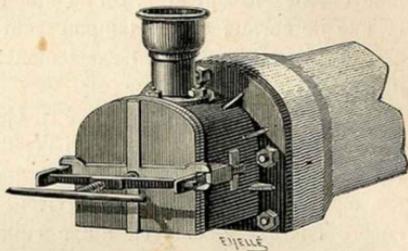


Fig. 31. — Tête de cornue.

Ces têtes de cornue sont fixées au moyen de boulons ancrés dans le renflement dont nous avons parlé, et l'étanchéité de la jonction est assurée au moyen d'un mastic composé de limaille de fer, de ciment réfractaire, de soufre et de sel ammoniac. Ce

mastic, appliqué à l'état de pâte fraîchement préparée, durcit rapidement et empêche toute fuite.

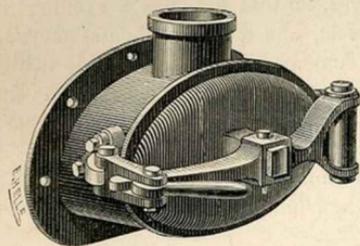


Fig. 32. — Tête de cornue avec fermeture à excentrique.

Lorsque le charbon est chargé, les têtes de cornue sont fermées au moyen de portes ou de tampons en fonte ou en tôle. La figure 32 représente une tête de cornue munie de sa porte en fonte;

celle-ci est assujettie au moyen d'une vis à filet carré passant dans une traverse appelée fléau, dont les extrémités s'engagent dans des pièces spéciales clavetées sur la tête de la cornue. On applique sur le tampon, avant de le placer, un lut formé de chaux éteinte en pâte ou d'argile.



La figure 32 représente un modèle plus nouveau de tampon mobile autour d'une charnière; la fermeture se fait au moyen d'un mouvement d'excentrique. On n'emploie pas de lut; les surfaces de la tête de cornue et du tampon sont assez bien dressées pour que les pièces s'appliquent exactement pour empêcher le passage du gaz.

Le charbon à distiller peut être chargé à la main; on le jette à la pelle dans les cornues et on l'égalise ensuite au moyen d'un râble; cela demande une certaine habileté de main de la part des ouvriers qui, du reste, y arrivent très rapidement. On peut encore charger au moyen d'une cuiller en tôle, sorte de long conduit à section demi-circulaire contenant la quantité voulue de charbon. On l'engage jusqu'au fond de la cornue, puis on la retourne et on la retire rapidement; le charbon ainsi versé est ensuite égalisé. Les cornues étant à la température voulue, le gaz se produit de suite; on pose le tampon et la distillation commence.

Généralement, les charges se font successivement, c'est-à-dire que les cornues sont déchargées et rechargées l'une après l'autre; quelquefois on espace les charges. En tout cas, il y a avantage à ne pas les charger toutes à la fois, afin d'obtenir un gaz moyen, puisque, la qualité variant du commencement à la fin de la distillation, on mélange ainsi, dès la sortie des cornues, le gaz de la fin de la distillation qui est de qualité médiocre, avec celui que le charbon dégage au commencement et qui est bien plus éclairant.

Lorsque la distillation est terminée, on enlève le charbon des cornues. Cette opération s'appelle *délutage*, parce qu'on détruit, en l'exécutant, le lut des cornues.

Il faut avoir soin de ne pas enlever brusquement les tampons. En effet, la cornue étant pleine de gaz, il pourrait se former avec l'air, au moment de l'ouverture, un mélange détonant qui, en s'enflammant, projetterait le tampon au loin. On desserre la vis de serrage sans retirer la traverse, de manière à laisser sortir un filet de gaz que l'on allume; puis on desserre progressivement la vis et on enlève la traverse et le tampon. On procède ensuite au décharge-

ment du coke au moyen de crochets en fer, et on le fait tomber dans une brouette en tôle disposée pour pouvoir être basculée au moyen d'une tringle de tirage. Le coke incandescent est emporté hors de la salle des fours et éteint avec de l'eau. On procède ensuite au rechargement.

Le gaz produit par la décomposition du charbon sort de la cornue par la tubulure de la tête de cornue et s'engage ensuite dans un tuyau vertical appelé *colonne montante* qui l'élève au-dessus du four, puis dans un tuyau incliné vers le fond du four appelé *pipe*, enfin dans le *plongeur* qui l'amène au *barillet* où commence la condensation.

CONDENSATION. — Le *barillet* sert de collecteur général du gaz dégagé avec les produits volatils condensables.

Comme il doit recevoir les produits de distillation de toutes les cornues, il faut que chacune d'elles soit séparée des autres par le tuyau qui amène le gaz; sans cela, lorsqu'on ouvre une des cornues pour la charger, le gaz du gazomètre reviendrait au dehors par cette ouverture. Le dispositif très simple imaginé par Clegg s'est toujours conservé dans les usines. On maintient constant dans le barillet le niveau du liquide qu'il contient au moyen d'un tube d'écoulement plongeant d'une certaine profondeur dans un pot plein d'eau (fig. 33). Le tuyau plongeur amenant le gaz de la cornue descend de quelques centimètres dans le liquide du barillet et forme ainsi une fermeture hydraulique qui laisse passer le gaz venant de la cornue, mais l'empêche d'aller du barillet dans la

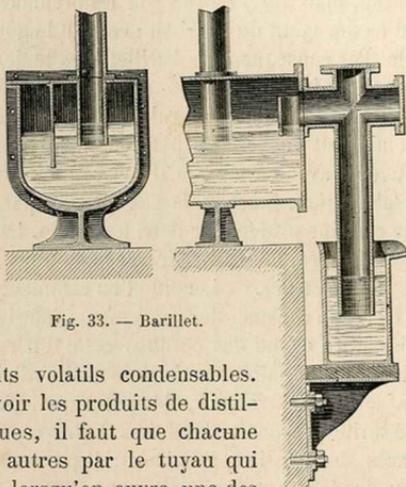


Fig. 33. — Barillet.



cornue; car le gaz du gazomètre, exerçant toujours une certaine pression sur le liquide, tend à le faire remonter dans le plongeur et pour qu'il suive une marche inverse, qui est la marche normale, il faut que la pression dans la cornue soit plus grande que dans le gazomètre.

Le barillet a pour but non seulement de fermer automatiquement la communication entre les cornues et les autres appareils de l'usine, mais aussi de recevoir les premiers produits condensables qui se dégagent du charbon : ce sont le goudron et l'eau ammoniacale. Par conséquent, le barillet sera toujours plein de ces liquides jusqu'au niveau du tube d'écoulement. Le goudron, étant plus lourd que l'eau ammoniacale, reste au fond et on le fait écouler le premier au moyen du petit tube intérieur. Les goudrons lourds peuvent, avec ce modèle d'appareil, être enlevés sans interrompre la fabrication, grâce à la cloison qui, partant du haut, descend à une certaine profondeur dans le liquide. La partie mobile du dessus étant enlevée, on peut retirer les goudrons lourds avec une spatule.

Extracteurs. — Lorsque l'on commença à employer les cornues en terre, on constata des rendements inférieurs de gaz; on attribua à la nature même des cornues cette différence ainsi que le pouvoir éclairant plus faible; mais à la suite d'expériences nombreuses, Grafton, leur inventeur, démontra que, pour le rendement, cette infériorité provenait des fuites à travers la cornue par suite de l'excès de pression intérieure; il prouva en même temps que le pouvoir éclairant diminuait pour cette même raison et un peu aussi parce que la température de distillation était plus élevée. Aussi chercha-t-on plusieurs moyens de remédier à cet excès de pression qui atteignait quelquefois 0^m,25 d'eau à la cornue. On ne fit plus pénétrer les plongeurs dans le liquide du barillet que de 15 à 20 millimètres et on évita dans les appareils d'épuration toutes les causes qui pouvaient entraver la circulation du gaz.

Enfin, Grafton, pour faire absolument disparaître toutes les possibilités de pertes de gaz à travers les fissures ou les pores de ses



cornues en terre, imagina l'*extracteur* destiné à enlever le gaz des cornues au fur et à mesure de sa production et à le refouler dans le gazomètre à travers tous les appareils de condensation et d'épuration. L'appareil qu'il avait inventé pour cet objet était à proprement parler un compteur à gaz renversé, c'est-à-dire que cet instrument, au lieu d'être mis en mouvement par le passage du gaz sous pression, mettait au contraire le gaz en mouvement au moyen de la rotation de ses aubes produite par un moteur extérieur. Son appareil exigeait une force motrice considérable. Le premier extracteur pratique fut celui que Pauwels et Dubochet installèrent en 1850 pour la Compagnie parisienne à l'usine d'Ivry. Il est composé de trois cloches plongeant dans l'eau et animées d'un mouvement vertical alternatif au moyen d'un arbre unique portant trois manivelles, qui transmettent leur mouvement aux trois cloches au moyen de bielles. Leur mouvement successif de montée et de descente dans l'eau aspire le gaz des cornues et le refoule vers le gazomètre. Les cloches sont munies de clapets qui empêchent le gaz de revenir du gazomètre vers les cornues. On a construit quelquefois des extracteurs à deux cloches, mais ils fonctionnent moins régulièrement que celui de Pauwels et Dubochet. Ce genre d'extracteur a été abandonné à peu près complètement dans les usines à gaz; comme extracteur à cloche, on ne peut guère citer aujourd'hui que le système très simple de Girardet qui convient particulièrement aux petites usines à gaz.

Un grand nombre d'appareils ont été imaginés pour faire circuler le gaz dans les appareils de fabrication. En dehors du système à cloches dont nous venons de parler, tous les modèles employés rentrent dans l'une des trois classes suivantes :

1° *Extracteurs rotatifs*. — Le plus connu est celui de Beale (fig. 34). Il est formé d'un cylindre en fonte fixe portant des tubulures pour l'entrée et la sortie du gaz. A l'intérieur, tourne un arbre traversant un des fonds du cylindre et portant des poulies de commande. Sur cet arbre est claveté excentriquement un tambour dont les extrémités glissent à frottement doux sur les fonds du

cylindre. Deux plaques en métal traversent le tambour excentré suivant son diamètre et sont disposées de telle sorte que lorsqu'on donne à l'arbre son mouvement de rotation, elles glissent sur la paroi intérieure du cylindre fixe de manière à le diviser toujours en deux parties; des rainures pratiquées dans le fond du cylindre guident les plaques dans leur mouvement. Les deux parties du cylindre, séparées par ces plaques, n'ont aucune communication entre elles, grâce à l'exactitude du mouvement de glissement qui

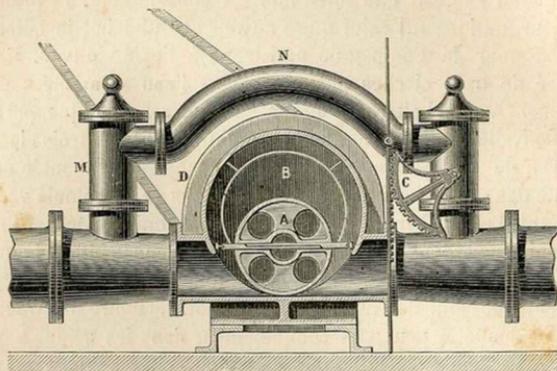


Fig. 34. — Extracteur rotatif de Beale.

assure l'étanchéité de cette sorte de joint mobile. Il en résulte que le gaz est refoulé d'une façon continue vers la tubulure de sortie en même temps qu'il est aspiré du côté de la tubulure d'entrée. Ces appareils, lorsqu'ils sont bien construits et bien entretenus, ont un rendement de 70 à 80 pour 100 à la vitesse de 70 à 100 tours à la minute. Un extracteur de 1^m,20 de diamètre aspire et refoule environ 5000 mètres à l'heure dans de bonnes conditions. Parmi les autres systèmes moins connus, nous pouvons citer les extracteurs de Jones, de Roots et de Schiele. Les extracteurs rotatifs exigent environ 1 cheval de force par 250 mètres à l'heure. Un

modèle d'extracteur Beale, modifié par Gwynne, fournissant 30000 mètres par vingt-quatre heures, exige 6 chevaux de force.

2° *Extracteurs à piston.* — Les extracteurs à piston sont absolument analogues aux machines soufflantes employées en métallurgie. Un des premiers extracteurs à piston employé dans l'industrie du gaz est celui d'Anderson qui était vertical et actionné par une machine indépendante. Aujourd'hui, beaucoup de grandes usines se servent des systèmes Arson ou Schmidt dans lesquels les mouvements sont très simplifiés et la marche absolument régulière. Généralement le cylindre à vapeur et le cylindre d'extraction sont montés sur un même bâti et le piston à vapeur actionne directement le piston de l'extracteur.

3° *Extracteurs à jet de vapeur.* — Ils peuvent être employés dans toutes les usines, même les plus petites, à condition d'avoir un générateur de vapeur qui, généralement, est chauffé par la chaleur perdue des fours; ils exigent par suite peu de surveillance.

Leur principe est le même que celui des injecteurs inventés par Giffard et employés pour l'alimentation des chaudières à vapeur. Un jet de vapeur lancé par un orifice étroit dans un tuyau conique entraîne avec lui le gaz sur lequel il produit une véritable aspiration et le refoule dans les appareils placés au delà.

Bien que l'idée de l'emploi de ces appareils pour l'aspiration du gaz soit ancienne et remonte à une trentaine d'années (brevets Bourdon et Arson), ils ne se sont généralisés que depuis peu. Les systèmes les plus connus sont ceux de Kœrting et de Bourdon. Nous donnons ci-contre le modèle Nicolas et Chamon. La figure 35 représente l'ensemble des appareils qui accompagnent un extracteur du système Bourdon. En E est l'extracteur, R est un régulateur à cloche qui a pour but de régler l'introduction de la vapeur d'après la quantité de gaz produit dans les cornues, r est le régulateur de retour dont la fonction est de laisser revenir du gaz derrière l'extracteur lorsque l'aspiration est trop énergique par rapport au volume du gaz produit; C est un condenseur de vapeur. Le gaz entraîné par la vapeur traverse des tubes verticaux refroidis par un

courant d'eau froide, il s'y dépouille de la vapeur d'eau amenée par

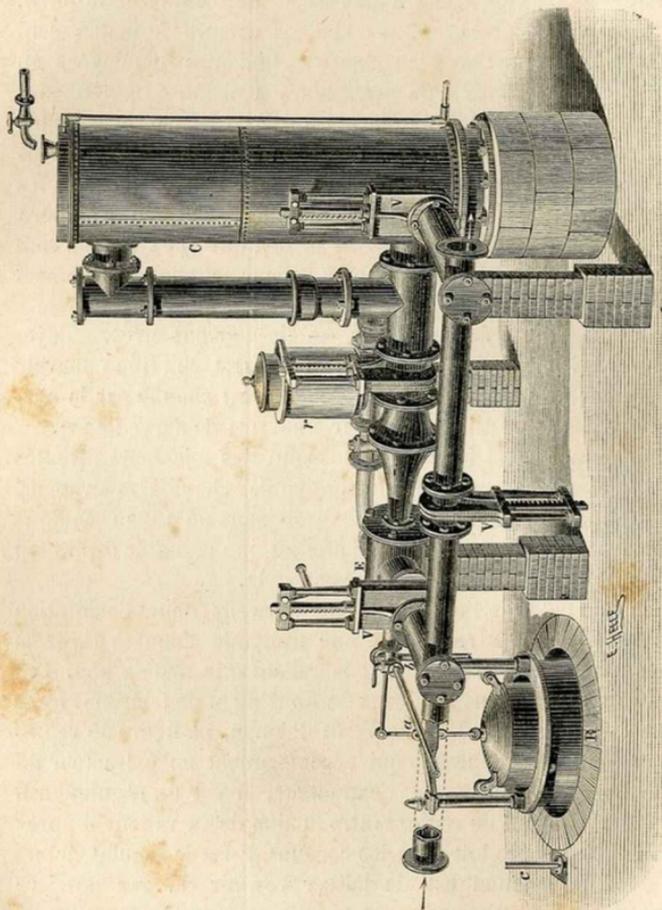


Fig. 35. — Extracteur à jet de vapeur de Nicolas et Chamon (ensemble des appareils).

l'extracteur. V V V sont des vannes qui permettent d'isoler l'extracteur de la conduite de gaz et de laisser passer directement ce dernier