répandu dans l'industrie, surtout dans l'orfèvrerie et la bijouterie, permet de fondre l'or et l'argent avec très peu de perte et à très bon marché (3 à 4 centimes par kilogramme).

Si nous cherchons encore à introduire plus d'air dans le gaz à brûler, de manière à atteindre le mélange théorique de 1 de gaz pour 14 d'air, en insufflant de l'air au moyen d'une soufflerie quelconque, soufflet, ventilateur ou trompe, nous pouvons alors atteindre les hautes températures nécessaires à la fusion du platine. C'est ce que l'on réalise dans les chalumeaux de laboratoire : le chalumeau de Schlœsing, pour la fonte du platine ; le petit fourneau de Forquignon et Leclerc, le four de Krechel, pour l'attaque des silicates.

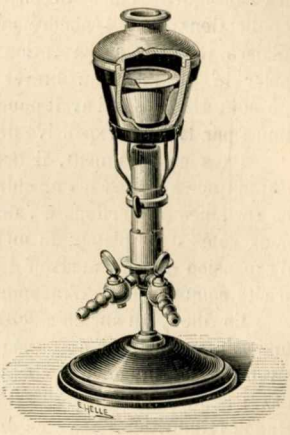

Fig. 88. — Four Krechel.

Ce dernier appareil, d'une grande simplicité, représenté figure 88, est un petit chalumeau de laboratoire au centre duquel un courant d'air énergique vient produire un jet de flamme très chaude. Celle-ci est utilisée pour porter rapidement au rouge un creuset placé dans un petit fourneau de terre réfractaire, disposé dans un support qui surmonte l'apppareil ; il est disposé également pour donner à volonté la flamme ordinaire du brûleur de Bunsen, sans soufflerie, en tournant le robinet d'air placé à sa base.

D'après les quelques exemples que nous venons de citer, on peut voir à quelles multiples applications le gaz peut se prêter avec avantage en dehors de l'éclairage ; dans la grande industrie, comme dans les laboratoires et les usages domestiques, c'est aujourd'hui le combustible par excellence.

d'air égal à huit fois le volume de gaz; or, pour brûler complètement un volume de gaz, nous savons qu'il faudrait 14 volumes d'air; donc, plus nous nous rapprocherons de cette proportion, plus élevées seront les températures obtenues. C'est ce qu'a réalisé M. Perrot, de Genève, dans son four de fusion, dont nous donnons une coupe (fig. 87), d'après un modèle établi par un de nos plus ingénieux constructeurs de ce genre d'appareils, M. Wiessnegg. Le gaz amené sous le four arrive à un brûleur formé de six becs Bunsen recourbés au sommet et fixés sur une même boîte en fonte; les flammes de ces six brûleurs se réunissent au-dessous du creuset à chauffer. Celui-ci est supporté par une pièce en terre réfractaire et entouré par un fourneau à double enveloppe également en terre réfractaire. Les produits de la combustion s'échappent par une cheminée fixée latéralement et au bas de l'enveloppe extérieure. Cette cheminée, de deux ou trois mètres de hauteur, produit un appel d'air énergique à la base du fourneau et au moment même de l'entrée de la flamme du gaz à cette base. Le mélange, qui se compose d'environ 1 volume de gaz pour 10 à 11 d'air, se forme ainsi au-dessous du creuset, et brûle dans l'espace qui l'entoure; la flamme qui circule dans la double enveloppe concourt encore à élever la température qui atteint 1,200 degrés environ. Cet appareil aujourd'hui très

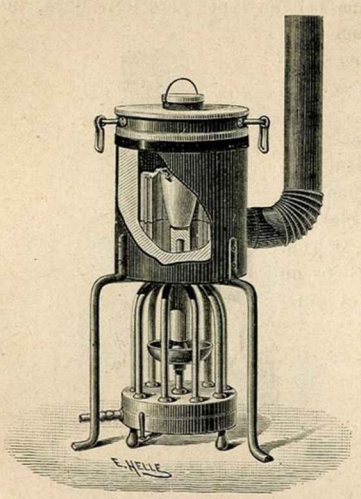

Fig. 87. — Four Perrot.

répandu dans l'industrie, surtout dans l'orfèvrerie et la bijouterie, permet de fondre l'or et l'argent avec très peu de perte et à très bon marché (3 à 4 centimes par kilogramme).

Si nous cherchons encore à introduire plus d'air dans le gaz à brûler, de manière à atteindre le mélange théorique de 1 de gaz pour 14 d'air, en insufflant de l'air au moyen d'une soufflerie quelconque, soufflet, ventilateur ou trompe, nous pouvons alors atteindre les hautes températures nécessaires à la fusion du platine. C'est ce que l'on réalise dans les chalumeaux de laboratoire : le chalumeau de Schlœsing, pour la fonte du platine ; le petit fourneau de Forquignon et Leclerc, le four de Krechel, pour l'attaque des silicates.

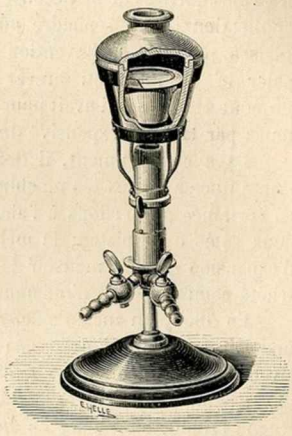

Fig. 88. — Four Kréchel.

Ce dernier appareil, d'une grande simplicité, représenté figure 88, est un petit chalumeau de laboratoire au centre duquel un courant d'air énergique vient produire un jet de flamme très chaude. Celle-ci est utilisée pour porter rapidement au rouge un creuset placé dans un petit fourneau de terre réfractaire, disposé dans un support qui surmonte l'appareil ; il est disposé également pour donner à volonté la flamme ordinaire du brûleur de Bunsen, sans soufflerie, en tournant le robinet d'air placé à sa base.

D'après les quelques exemples que nous venons de citer, on peut voir à quelles multiples applications le gaz peut se prêter avec avantage en dehors de l'éclairage ; dans la grande industrie, comme dans les laboratoires et les usages domestiques, c'est aujourd'hui le combustible par excellence.

Nous allons jeter maintenant un coup d'œil sur son application comme producteur de force motrice.

Moteurs à gaz.

Ainsi que nous l'avons dit, Philippe Lebon avait bien prévu les conséquences de sa découverte au point de vue de ses diverses applications; pour répondre aux revendications allemandes et anglaises relatives à l'invention du moteur à gaz, il suffit de rappeler le certificat ou brevet additionnel pris par Lebon, le 25 août 1801, et qui avait pour objet la construction des machines mues par la force expansive du gaz.

Dans ce document, il donne une description qui pourrait s'appliquer à toutes les machines créées depuis. Le gaz, mélangé en certaines proportions à l'air, est introduit successivement des deux côtés d'un piston; le mélange enflammé produit une force d'expansion qui fait mouvoir le piston. Il a même indiqué l'électricité comme moyen d'inflammation.

En 1807, un ancien officier, M. de Rivaz, prit un brevet pour une voiture à vapeur actionnée par un moteur à gaz. Puis successivement des inventeurs cherchent à perfectionner le moteur à gaz : Samuel Brown (1823), Hazard (1826), Cristoforis (1841), Hugon (1858), etc.; mais ce ne fut qu'avec la machine créée par Lenoir en 1860 que le moteur à gaz devint applicable industriellement. Ce moteur peut être considéré comme le premier qui ait fonctionné réellement; dès son origine, malgré un rendement assez faible par rapport aux nouveaux moteurs qui lui ont succédé, il montrait la supériorité théorique du moteur à gaz, sur le moteur à vapeur. En effet, dit M. Lefebvre dans sa notice sur le moteur Lenoir, un moteur Lenoir, produisant 1 cheval de force ou 270,000 kilogrammes, consomme 2 mètres cubes de gaz qui produisent en brûlant 12,000 calories; or, d'après la théorie mécanique de la chaleur, chaque calorie correspondant à 430 kilogrammètres, le moteur à gaz devrait produire 430 $\times$ 12,000

= 5,160,000 kilogrammètres ; en pratique il en donne 270,000, c'est-à-dire 5,23 pour 100. Une machine à vapeur de la force de 1 cheval consomme 5 kilogrammes de charbon représentant 40,000 calories, ce qui correspond à un travail de 17,200,000 kilogrammètres; en pratique, elle donne 1,57 pour 100.

Et ce que disait M. Lefebvre, en 1864 s'est encore accentué aujourd'hui. Une machine à vapeur de 8 chevaux, par exemple, brûle au moins 24 kilogrammes de houille à l'heure, soit 3 kilogrammes par cheval, et n'utilise que 2,61 pour 100. Tandis que les nouveaux moteurs de M. Lenoir, pour produire la même force, consomment 720 litres de gaz à l'heure par cheval, utilisant ainsi 14,5 pour 100, et il est probable que des perfectionnements viendront encore augmenter ces rendements.

La force utilisée dans le moteur à gaz est l'expansion produite par l'explosion résultant de l'inflammation d'un mélange d'air et de gaz. Dans certains moteurs, cette sorte d'expansion est simplement utilisée pour pousser un piston agissant sur une tige, une bielle et la manivelle d'un arbre coudé, comme le fait la vapeur dans la machine à vapeur. C'est ainsi qu'elle agit dans le premier moteur de Lenoir, celui de Hugon et de Kinder et Kinsey. Dans d'autres moteurs, l'explosion, agissant sur un piston libre, sert à créer derrière celui-ci une raréfaction ou vide partiel en vertu duquel la pression atmosphérique agit au retour pour développer le travail effectif. Les machines de Barsanti et Matteuci, d'Otto et Langen et de Gilles rentrent dans cette catégorie.

Quelquefois, comme dans le moteur Bisschop, les deux actions sont utilisées.

Dans les premiers types de moteurs, le mélange de gaz et d'air est admis à la pression atmosphérique et la conserve jusqu'au moment où l'inflammation détermine l'explosion qui se produit instantanément; tandis que dans d'autres moteurs, tels que ceux d'Otto, Clerk, Simon, Funck, etc., le mélange détonnant est comprimé à l'avance, soit par le piston moteur lui-même, soit par une pompe de compression spéciale, et c'est alors que l'explosion est

provoquée par un jet de gaz enflammé ou par une étincelle électrique. En outre, l'inflammation est graduelle et produit une explosion progressive.

La discussion de la théorie du moteur à gaz nous entraînerait en dehors des limites de cet ouvrage. Cette théorie, ainsi que la description détaillée des divers types de moteurs à gaz, sera traitée dans un volume spécial. Nous renvoyons pour le moment le lecteur à l'intéressante étude de M. Aimé Witz, et nous nous bornerons à la description de deux types caractéristiques qui donneront au lecteur une idée de ce genre d'appareils.

Moteur Bisschop (fig. 89). — Dans ce moteur, l'explosion d'un mélange de gaz et d'air agit sur un piston qui se meut dans un cylindre vertical, pour l'élever de bas en haut; le piston pousse une tige à laquelle est attelée une bielle renversée qui actionne une manivelle placée sur l'arbre moteur. Lorsque le piston est arrivé au haut de sa course, une raréfaction a lieu sous le piston qui est repoussé au bas de sa course par la pression atmosphérique; une nouvelle explosion se produit alors pour faire remonter le piston. Le mélange explosif est enflammé par un bec de gaz brûlant constamment devant un petit orifice pratiqué à la base du cylindre et dont l'obturation a lieu automatiquement, lors de l'explosion, au moyen d'un simple clapet métallique. Pour éviter que la température ne s'élève trop par suite des explosions répétées, le cylindre porte, autour de sa circonférence, une série d'ailettes venues de fonte, entre lesquelles s'établit un courant d'air qui refroidit rapidement les parois; on évite ainsi le refroidissement par circulation d'eau, nécessaire dans la plupart des moteurs à gaz. Ce moteur, excessivement simple, peut être dirigé par la première personne venue après cinq minutes d'instruction. On ne pourrait que lui reprocher sa consommation de gaz assez élevée (elle atteint 1,000 litres à l'heure pour un demi-cheval de force et 1,850 litres pour un cheval); mais cet appareil a été construit en vue de remplacer la force de l'homme ou du cheval, dont le prix serait bien plus considérable. Ainsi le demi-cheval-vapeur qui consomme

1,000 litres, soit une dépense de 0 fr. 30 à l'heure, donne une

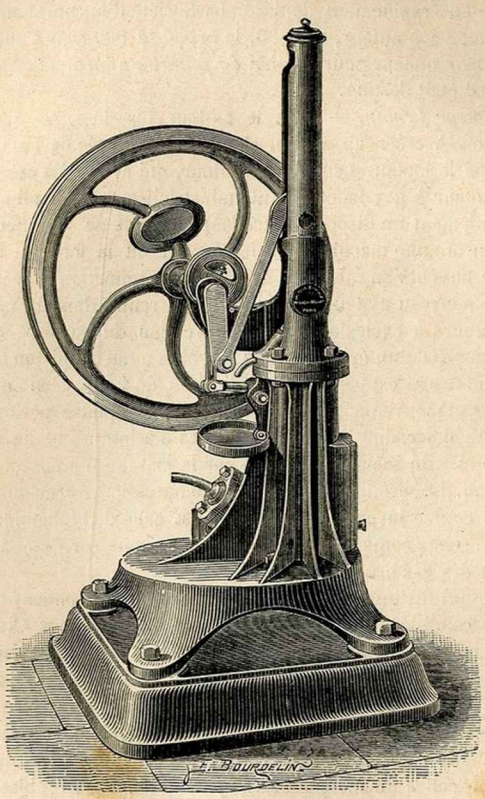

Fig. 89. — Moteur Bisschop.

force égale à celle de six hommes qui, comptés 0 fr. 30 au moins

à l'heure, coûteraient 1 fr. 80. Il est assez simple à installer pour pouvoir être rapidement déplacé. La Société d'Encouragement, en accordant à son auteur, en 1880, le prix de 1,000 francs offert pour le meilleur moteur pour *atelier de famille*, a bien compris le rôle auquel il était destiné.

Moteur Lenoir. — Dans le moteur Bisschop, on a cherché avant tout à créer un moteur simple, à la portée de tous, tandis que dans le moteur Lenoir, l'inventeur, qui avait déjà créé le premier moteur à gaz fonctionnant industriellement, a voulu réaliser non seulement un dispositif excellent au point de vue mécanique, mais encore une machine motrice produisant la force au meilleur marché possible en raison de sa faible consommation de gaz.

Le nouveau moteur Lenoir (fig. 90) rentre dans la catégorie des moteurs à explosion, avec compression du mélange explosif. Il se compose d'un cylindre dans lequel se meut un piston actionné par le mélange explosif, sans utilisation de la pression atmosphérique. Le mouvement du piston comporte quatre périodes. La première détermine l'aspiration du gaz d'éclairage et de l'air devant former le mélange explosif par la marche d'arrière en avant du piston. La seconde comprend la compression du mélange pendant la course inverse. La troisième est celle de l'inflammation de de ce mélange comprimé, et enfin la quatrième correspond à l'expulsion des gaz brûlés.

Ce qui distingue ce moteur de ceux qui fonctionnent dans les mêmes conditions de compression, comme le moteur Otto, c'est que le mélange comprimé se rend dans une capacité faisant suite au cylindre même, mais dont les parois sont isolées de ce cylindre par un joint non conducteur de la chaleur. Ce réservoir porte en outre à l'extérieur, ainsi que le cylindre moteur, un certain nombre d'ailettes, les unes transversales, les autres longitudinales, analogues à celles du moteur Bisschop et qui ont pour objet d'offrir au contact de l'air extérieur une plus grande surface refroidissante. Ce réservoir, appelé par l'inventeur le *réchauffeur,* reçoit du mélange enflammé une certaine quantité de chaleur, qui se com-

munique aux parois pour servir à l'échauffement rapide de la masse comprimée suivante, avant son inflammation.

Le résultat de ces deux opérations, la compression d'une part et l'échauffement du gaz de l'autre, est de produire dans le cylindre au moment de l'explosion une pression plus considérable, et qui atteint 12 à 13 atmosphères.

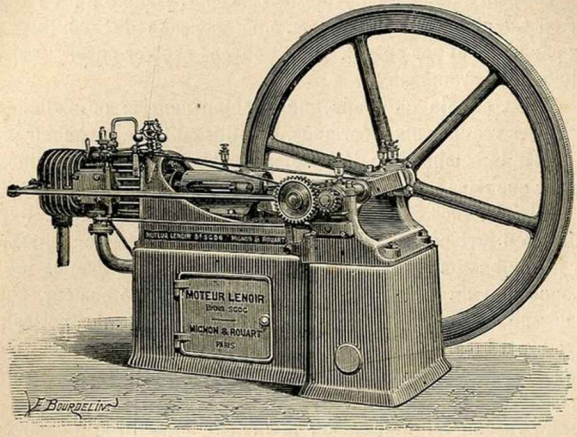

Fig. 90. — Moteur Lenoir.

L'emploi de ces hautes pressions a conduit M. Lenoir à adopter des distributions par soupapes, au lieu des tiroirs si délicats dans ce genre de moteurs. L'inflammation du mélange a lieu, comme dans le premier moteur de M. Lenoir, par l'étincelle électrique. Les moteurs de faible puissance, jusqu'à 4 chevaux, n'exigent pas le refroidissement du cylindre par une circulation d'eau. Enfin un régulateur de vitesse agit sur la soupape d'admission, de manière à interrompre l'introduction du gaz pendant une ou même plusieurs cylindrées, lorsque le moteur tend à augmenter de vitesse.

Des expériences exécutées sous la direction de M. H. Tresca et résumées dans un remarquable Mémoire auquel nous empruntons les renseignements qui précèdent, il ressort que le nouveau moteur Lenoir, pour produire une force de 1 cheval-vapeur, dépense environ 700 litres de gaz à l'heure (des essais exécutés avec un moteur de 2 chevaux donnent même 677 litres).

On peut admettre en pratique courante, comme nous l'avons fait en calculant les rendements, une moyenne de 720 litres de gaz par heure et par cheval. Nous pouvons espérer encore des résultats plus avantageux.

Il est certain que dans une machine motrice on n'atteindra jamais les rendements théoriques, en utilisant toute la chaleur produite par le combustible dépensé, aussi bien dans les machines à vapeur que dans les moteurs à gaz; mais moins on emploiera d'intermédiaires, plus on approchera de l'utilisation théorique. Il est clair qu'on arrivera difficilement à récupérer la chaleur entraînée par la combustion du mélange explosif (cela a été essayé) et que le rayonnement du cylindre sera encore une perte de chaleur. Enfin un organe mécanique quelconque comporte toujours des pertes de travail, par les frottements qu'il est impossible d'empêcher et qu'on ne peut que réduire dans une certaine mesure, par la perfection de la construction.

En résumé tel qu'il existe, le moteur à gaz est le moteur par excellence pour la petite industrie. Il peut être placé partout sans autorisation obtenue à la suite d'enquête de *commodo et incommodo*. L'espace occupé par lui est très restreint, pas de chaudière, pas de cheminée, pas de fumée, pas de chauffeur. Mise en marche et arrêt instantanés. Comparé aux moteurs animés, il réalise une économie considérable et, si l'on met en regard les prix de revient de la force produite par le moteur à gaz et ceux que donne la machine à vapeur, on trouve, en reprenant les chiffres que nous citions au commencement de ce chapitre, qu'une machine à vapeur de 8 chevaux consommera environ 24 kilogrammes de charbon à l'heure, ce qui, à raison de 30 francs la tonne,

représente une dépense de 0 fr. 09 par cheval et par heure; tandis que le moteur à gaz Lenoir, qui est le plus économique, consommera 5,800 litres ou 720 litres de gaz par cheval et par heure, qui à 0 fr. 30 le mètre cube, représentent 0 fr. 21 par cheval et par heure. Mais cependant, pour ces petites forces, l'industrie commence à préférer le moteur à gaz, parce qu'il ne comporte pas l'entretien et l'amortissement d'un matériel aussi coûteux, parce qu'il économise l'emplacement, et enfin parce qu'il n'exige pas de chauffeur. Ce dernier élément, représentant au moins 0 fr. 50 par heure, constitue, pour la machine à vapeur de 8 chevaux citée, une dépense de 0 fr. 063 par cheval-heure, qui, ajoutés aux 0 fr. 09, font ressortir la dépense totale à 0 fr. 15. Il reste bien encore 0 fr. 06 de différence contre le moteur à gaz, mais, comme nous le disions, les ennuis qu'il évite le font souvent préferer. Il devient enfin absolument plus avantageux lorsque le gaz coûte moins cher; ainsi avec le même moteur, si le gaz était compté 0 fr. 20 le mètre cube, le cheval-heure ne coûterait plus que 0 fr. 14 et au prix où le gaz est vendu dans certaines villes d'Angleterre, soit 0 fr, 09 le mètre cube, le cheval-heure ne revient plus qu'à 0 fr. 065, c'est-à-dire moins cher qu'avec la machine à vapeur. Aussi voyons-nous déjà certaines usines fabriquer du gaz pour actionner des moteurs à gaz, et s'en bien trouver.

V

PRODUITS DÉRIVÉS

Nous avons vu, au début du chapitre relatif à la fabrication du gaz, qu'en pratique, les produits obtenus par la distillation de la houille dans les usines à gaz se composent de :

Coke	65 à 75	kilogrammes.
Gaz d'éclairage.	15 à 18	—
Goudron.	4 à 5	—
Eau ammoniacale.	6 à 7	—
Perte et divers absorbés par l'épuration.	1 à 9	—

Nous avons suivi le gaz d'éclairage pendant les opérations successives de condensation et d'épuration, qui ont pour but de le purifier et d'en séparer les diverses substances nuisibles ou inutiles à son pouvoir éclairant.

Nous allons maintenant étudier le parti que l'industrie a su tirer de ces matières qui, au début de l'application du gaz à l'éclairage, étaient encombrantes, et qui aujourd'hui sont la source de produits précieux et l'origine d'importantes industries.

Au commencement de cet ouvrage, nous avons parlé du *coke ;* nous n'avons pas à y revenir. Nous nous occuperons seulement des trois autres résidus de la fabrication : l'eau ammoniacale, les vieilles matières d'épuration et le goudron.

L'eau ammoniacale.

L'ammoniaque sous forme de sel ammoniac, semble avoir été connue de toute antiquité; ce sel venait d'Asie et d'Égypte; il était extrait de la suie produite par la combustion de la fiente des chameaux. Cette suie était sublimée et le sel ammoniac se déposait dans la partie supérieure des vases où avait lieu la sublimation. Geber, célèbre alchimiste arabe (dont le vrai nom est Abou Moussah-Djafar) qui vivait au VIIIe siècle, trouva le moyen d'extraire le sel ammoniac des urines putréfiées, et les fabriques qui s'établirent vers le XIIe siècle, en Allemagne et en France, employèrent sa méthode.

Ce n'est guère que vers le milieu du XIIe siècle que l'on trouva le moyen d'extraire le gaz ammoniac. Le sel ammoniac n'est aujourd'hui qu'un produit de fabrication et ne sert plus de matière première pour l'extraction de l'ammoniaque et la fabrication des sels ammoniacaux ; c'est la houille qui fournit la plus grande partie de l'ammoniaque.

Nous avons vu, en effet, que ce combustible contient des quantités variables d'azote dont la moyenne est de 0,8 pour 100 environ. Par suite de la décomposition qu'il subit, soit pendant la combustion, soit par la distillation sèche, l'azote s'en dégage en partie sous forme de composés ammoniacaux. Pendant longtemps l'ammoniaque provenant de la combustion a été négligée; c'est seulement lorsque l'on a pu en constater la présence dans les eaux de condensation provenant des conduites des gaz qui s'échappent des hauts fourneaux, que l'on a pensé à la recueillir. La quantité ainsi obtenue n'est pas très considérable; cependant, en 1887, on estimait, en Angleterre, à 4,000 tonnes environ la production de sulfate d'ammoniaque provenant des hauts fourneaux. L'Angleterre est du reste le principal producteur de produits ammoniacaux; car, dans cette même année 1887, la fabrication de sulfate d'ammo-

niaque y atteignait le chiffre de 106,610 tonnes. Nous trouvons qu'en 1887, on a importé en France 421,919 kilogrammes d'ammoniaque et 14,485,000 de kilogrammes de sel ammoniac et exporté 1,115,000 kilogrammes d'ammoniaque liquide et 1,177,000 kilogrammes de sel ammoniac. La Compagnie Parisienne fabrique annuellement plus de 3,000 tonnes de sulfate d'ammoniaque.

Aujourd'hui la plupart des usines à gaz recueillent les eaux ammoniacales à cause de la valeur acquise par le sulfate d'ammoniaque, spécialement en raison de son emploi considérable comme engrais agricole.

Le *sulfate d'ammoniaque* est la forme la plus courante donnée aux sels ammoniacaux ; c'est lui qui est le point de départ de la fabrication de presque tous les autres produits à l'état pur : l'ammoniaque en dissolution, le carbonate d'ammoniaque, etc.

Maintenant, on se sert beaucoup en teinture d'aluns ammoniacaux à la place d'alun de potasse. L'ammoniaque caustique en dissolution ou alcali s'emploie dans les machines à produire le froid (Carré, Letellier, Linde) ; on l'utilise également pour l'extraction des matières tinctoriales du lichen, de l'orseille et de la cochenille.

L'ammoniaque sert encore à la fabrication de la soude par les procédés Solvay, Boulouvard ou Schlœsing. Le sel ammoniac est surtout employé pour décaper les métaux que l'on veut étamer ou souder.

Le carbonate d'ammoniaque trouve son application en teinture; presque tous les sels ammoniacaux sont utilisés comme réactifs dans les laboratoires ou comme médicaments; enfin le tabac à priser doit une partie de son montant à l'ammoniaque.

L'ammoniaque peut s'obtenir par la calcination des matières animales et des os en vases clos; elle provient aussi des résidus des fabriques de noir animal, des urines putréfiées, des eaux vannes, des foyers à houille, comme nous le disions plus haut; enfin on a même essayé de la produire au moyen de l'azote de l'air (procédé Margueritte).

Nous avons surtout à nous occuper ici de l'extraction de l'ammoniaque des eaux ammoniacales provenant des usines à gaz.

L'eau de condensation des usines à gaz contient, en dissolution, des composés ammoniacaux fixes ou volatils, en proportions très variables, selon le mode de condensation adopté. Nous avons vu que 100 kilogrammes de houille donnaient 6 à 7 kilogrammes d'eau ammoniacale, qui peut contenir jusqu'à 6 grammes d'ammoniaque par litre. L'ammoniaque s'y trouve sous la forme de sesquicarbonate, de sulfhydrate, de sulfocyanhydrate, d'hyposulfite, de sulfate, de chlorhydrate et d'ammoniaque libre.

Les opérations que l'on fait subir à l'eau ont pour but de dégager l'ammoniaque de ce mélange et de la recueillir en la faisant entrer en dissolution dans l'eau ou en combinaison avec un acide; le plus souvent, c'est l'acide sulfurique dont on fait usage.

Cette quantité de combinaisons dans lesquelles l'ammoniaque est engagée dans l'eau de condensation donne à celle-ci des poids spécifiques très variables; ainsi de l'eau contenant 13 grammes d'ammoniaque libérable, peut avoir la même densité qu'une eau qui en contient 26 grammes. C'est pourquoi nous estimons que la méthode d'appréciation de ces eaux suivie ordinairement dans le commerce, et qui consiste à en prendre la densité ou le degré au moyen d'un aéromètre, est absolument erronée et peut conduire à des conclusions très fausses, aussi bien pour les acheteurs que pour les vendeurs.

Le seul moyen pratique, est l'analyse très simple et à la portée de tous par la méthode de distillation. Nous dirons quelques mots de cette méthode, non seulement parce qu'elle est celle que nous estimons devoir toujours être suivie par l'usinier, mais encore parce qu'elle donne l'idée d'une opération en petit, pour l'extraction de l'ammoniaque.

Cette méthode repose sur le déplacement de l'ammoniaque de ses combinaisons, au moyen d'une solution de potasse. L'ammoniaque libérée est recueillie et absorbée par de l'acide sulfurique ou oxalique en excès, de valeur connue, avec lequel elle forme une

solution de sulfate ou d'oxalate d'ammoniaque; l'acide resté libre est mesuré au moyen d'une solution alcaline de valeur également connue.

L'appareil que nous employons (fig. 91) se compose d'un ballon en verre dans lequel on place 10 centimètres cubes d'eau ammoniacale ou d'une solution d'un sel à analyser, représentant à peu près 1 gramme de matière; on ajoute 150 centimètres cubes d'eau distillée, puis 25 centimètres cubes d'une solution de potasse caustique contenant 5 pour 100 de potasse, enfin 150 autres centimètres cubes d'eau. Le ballon est fermé par un bouchon percé, dans lequel s'engage un tube de verre qui s'élève d'abord verticalement à environ $0^m,40$ de hauteur, pour redescendre ensuite à travers un manchon en verre, où il est refroidi par un courant d'eau froide, et se terminer dans un vase à saturation contenant 20 centimètres cubes d'une solution normale d'acide oxalique (préparée en faisant dissoudre 63 grammes de cet acide pur dans un litre d'eau distillée); on ajoute quelques gouttes de teinture bleue de tournesol qui, au contact de l'acide, vire au rouge en le colorant. Si maintenant, au moyen d'une lampe à alcool ou d'un bec de gaz, on chauffe le ballon avec précaution, le liquide s'échauffe, la potasse se substitue dans ses combinaisons à l'ammoniaque qui se dégage, s'élève dans le tube qui surmonte le ballon et redescend dans le vase à saturation, où elle se combine avec l'acide pour former de l'oxalate d'ammoniaque. Lorsque toute l'ammoniaque s'est dégagée (entraînée avec une certaine quantité d'eau), c'est-à-dire quand il s'est condensé environ 100 centimètres

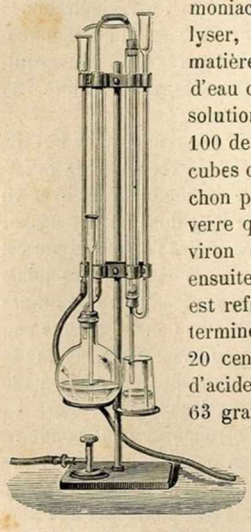

Fig. 91. — Appareil F. Verdier pour le dosage des sels ammoniacaux.

cubes d'eau, on mesure la quantité d'acide resté libre en y versant un nombre de centimètres cubes d'une solution de carbonate de soude, dont un centimètre cube neutralise un centimètre cube de solution d'acide oxalique[1], de telle sorte que la teinte rose du liquide acide soit juste ramenée au bleu; l'acide libre est alors neutralisé. On a ainsi par différence le nombre de centimètres cubes d'acide entrés en combinaison avec l'ammoniaque. Or, 1 centimètre cube de solution d'acide oxalique correspondant à $0^{gr},017$ d'ammoniaque (soit $0^{gr},014$ d'azote), on a par suite la teneur de la solution ammoniacale analysée.

La solution de potasse peut être remplacée dans certains cas par un lait de chaux.

Cette méthode permet de déterminer rigoureusement la quantité d'ammoniaque contenue dans les eaux à traiter, ainsi que la valeur des sels ammionacaux fabriqués; ce qui est indispensable aussi bien aux fabricants qu'aux acheteurs, aux industriels ou aux agriculteurs.

Traitement des eaux ammoniacales.

Le traitement s'effectue de plusieurs manières, selon que l'on se propose d'obtenir de l'ammoniaque caustique en dissolution dans l'eau ou des sels ammoniacaux; mais dans les grandes usines on suit toujours la méthode de la distillation pour dégager l'ammoniaque. L'eau ammoniacale mélangée avec un lait de chaux dans une chaudière chauffée, laisse dégager l'ammoniaque qui est ensuite absorbée dans de l'eau distillée froide, quand il s'agit de faire de l'ammoniaque caustique, ou dans de l'acide sulfurique ou chlorhydrique, selon que l'on désire du sulfate ou du chlorhydrate.

On peut également, pour obtenir du sulfate ou du sel ammo-

1. Cette solution se prépare avec 143 grammes de carbonate de soude cristallisé pur, dissous dans un litre d'eau distillée.

niac, saturer directement l'eau ammoniacale, puis concentrer la solution jusqu'à cristallisation. Cette méthode que l'on employait avant l'installation des appareils distillatoires, avait l'inconvénient de dégager des gaz (acide carbonique et hydrogène sulfuré) qui infectaient le voisinage ; les sels obtenus étaient sales, et enfin la concentration exigeait une assez forte dépense de combustible. On a presque partout renoncé à ce procédé, et cependant nous pensons que, dans certains cas, il y a tout avantage à s'en servir. De petites usines qui n'ont qu'une faible production préfèrent laisser perdre leurs eaux ou les vendre à très bas prix plutôt que de s'astreindre à l'acquisition d'un matériel de distillation coûteux. Nous avons été à même de construire de petites usines dans ces conditions et nous nous sommes bien trouvés de l'emploi de la méthode de saturation directe avec certaines précautions ; aussi croyons-nous que la description de ce procédé pourra rendre service dans certains cas. Le matériel comprend (fig. 92) une petite cuve conique à saturer, en bois doublé de plomb, une ouverture pratiquée à une certaine distance du fond est fermée par un robinet ou un simple tampon en bois ; une cuve plate en plomb, disposée sur le parcours de la cheminée traînante des fours et un égouttoir en bois doublé de plomb : le tout d'une valeur de 200 ou 300 francs. La qualité des sels produits dépend de la manière dont la saturation est faite. Il faut avoir soin de verser l'acide dans l'eau en l'agitant vivement ; pendant l'opération une mousse abondante se produit en même temps que se dégagent les gaz qui peuvent être dirigés dans une hotte communiquant avec la cheminée de l'usine ou sous un foyer. Lorsque la saturation est complète, du goudron léger sur-

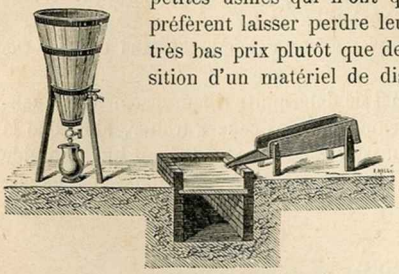

Fig. 92. — Traitement des eaux ammoniacales.

nage au-dessus du liquide et un dépôt se forme au fond de la cuve. On laisse reposer vingt-quatre heures, puis on tire au clair le liquide, que l'on envoie se concentrer dans la cuve à évaporer. La concentration n'exige pas de dépense spéciale de combustible puisque l'on emploie ainsi la chaleur perdue des fours; au bout d'un certain temps il se forme du sulfate dans la cuve, on le retire avec un râble et on le met égoutter, les eaux mères qui s'écoulent retombent dans la cuve. On peut également, lorsque la dissolution marque 28 à 30 degrés Baumé, la mettre refroidir dans un cristallisoir (cuve en bois), où le sulfate formé se dépose en beaux cristaux. Avec un peu de pratique et de soin on peut ainsi, dans ces petites usines, obtenir de très beau sulfate, ce qui vaut mieux que de perdre les eaux ou de les vendre à vil prix. Les plus légers bénéfices sont surtout importants dans de telles usines. On peut obtenir ainsi 5 à 6 kilogrammes de sulfate par tonne de houille distillée. Il est évident que ce procédé est surtout applicable à des usines de peu d'importance.

La méthode par distillation se fait avec ou sans addition de chaux, pour dégager l'ammoniaque. En effet, la plupart des sels qui constituent la solution peuvent se décomposer par simple ébullition. Ceux qui sont fixes, tels que le sulfate, le chlorure, le sulfocyanure, doivent être mis en présence de chaux pour se dégager. Certaines fabriques préfèrent perdre un peu d'ammoniaque pour éviter l'emploi de la chaux. En tous cas il est plus avantageux, au point de vue de la qualité du sel obtenu, de dégager les sels volatils avant l'addition de chaux.

Les chaudières employées sont généralement disposées de manière à utiliser la chaleur entraînée par l'ammoniaque distillée pour chauffer les eaux ammoniacales qui seront traitées immédiatement après celles que contient la chaudière. Le chauffage est effectué soit à feu nu, soit par injection de vapeur.

L'ammoniaque dégagée est ensuite absorbée, soit dans l'eau pour faire de l'ammoniaque caustique, soit dans un acide approprié pour sulfate ou chlorhydrate.

La solution ammoniacale, alcali volatil, obtenue directement avec l'eau brute des usines à gaz, serait jaunâtre et aurait une odeur empyreumatique, si l'on n'avait le soin de faire traverser au gaz ammoniac une couche de charbon de bois fraîchement préparé.

L'absorption par l'acide sulfurique a lieu, soit dans l'acide concentré, soit dans l'acide étendu. Dans le premier cas le sel est *pêché*, au fur et à mesure qu'il se dépose dans les bacs d'absorption, et mis de suite à égoutter ; dans le second, les solutions étendues de sulfate sont laissées en repos, pour se clarifier, puis elles sont concentrées et mises à cristalliser.

Une intéressante observation a été faite par M. Frère, relativement à la coloration en bleu de sulfates fabriqués par la distillation. Au contact des tuyaux de dégagement en fer il se forme avec les cyanures contenus dans les eaux d'usine, du bleu de Prusse, qui colore le sel en bleu. On devra donc avoir soin de remplacer ces tubes en fer par des tubes en plomb.

Tous les appareils employés pour la distillation des eaux ammoniacales sont établis pour réaliser cette opération avec la plus faible dépense de chauffage possible et obtenir, d'après les indications générales énumérées ci-dessus, les produits les plus purs. Nous ne pourrions, dans ce volume, décrire même les plus importants des nombreux appareils proposés par Lunge, Rose, Elwert, Muller Pack, Solvay, Chevalet, etc. Nous nous contenterons de décrire deux des modèles les plus répandus : l'appareil Mallet et l'appareil de Grüneberg. Nous aurons cependant à citer une particularité de l'appareil de Chevalet, qui emploie pour le chauffage la chaleur perdue des fours, en faisant passer un tube de circulation dans la cheminée traînante de l'usine.

L'appareil de Mallet, représenté figure 93, d'après le modèle établi par la Compagnie Parisienne, se compose de deux batteries indépendantes sur un seul fourneau. Chaque batterie est constituée par trois chaudières A, B, C, situées l'une au-dessus de l'autre et contenant environ 50 hectolitres. Les chaudières inférieures A, B, sont chauffées par un seul foyer placé sous la pre-

mière; les fumées et gaz chauds circulent ensuite autour de la seconde. Dans chaque chaudière sont placés des agitateurs qui ont pour but d'empêcher la chaux de se déposer et d'en assurer le mélange avec l'eau ammoniacale.

La troisième chaudière C reçoit les vapeurs qui se dégagent

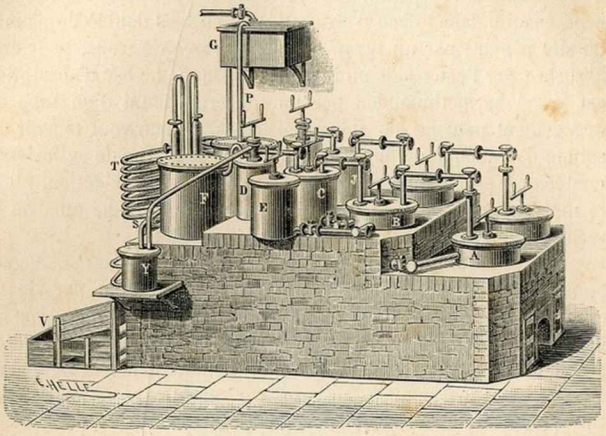

Fig. 93. — Appareil Mallet.

des deux premières. Les vapeurs arrivent par le fond, au moyen du tuyau J; elle est également pourvue d'un agitateur.

Enfin, les produits volatils dégagés après avoir traversé une petite chaudière D circulent dans un serpentin F refroidi par l'eau de gaz brute qui arrive du réservoir mesureur G. Un tuyau de dégagement P envoie les premières vapeurs qui peuvent se produire en F. En E, est une chaudière qui sert à la préparation du lait de chaux. Toutes les chaudières distillatoires communiquent entre elles par une conduite, munie de robinets convenables, de manière à faire circuler méthodiquement les eaux de l'une dans l'autre.

Nous avons vu qu'elles communiquent également entre elles par le haut, au moyen des tubes de dégagement.

Les produits condensés vont du serpentin dans un petit récipient S, où ils se séparent du gaz ammoniac. Les liquides s'écoulent de S dans un réservoir collecteur Y, et l'ammoniaque, s'élevant d'abord dans un serpentin T, refroidi par le contact de l'air, redescend ensuite dans le bac d'absorption V, en bois doublé de plomb, où elle pénètre par un tuyau horizontal percé de trous, pour être absorbée par l'eau froide ou l'acide sulfurique. Le bac d'absorption est fermé hermétiquement par un couvercle muni d'un tube de dégagement pour les gaz non absorbables. Si l'on veut obtenir du sulfate d'ammoniaque, en faisant absorber dans l'acide sulfurique, on pèche le sel produit, au fur et à mesure de sa production, et on le met égoutter dans un égouttoir doublé de plomb, puis on le sèche à l'étuve ou sur des plaques de fer chauffées.

L'acide sulfurique employé est de l'acide à 53° Baumé. Chaque appareil double peut produire une tonne de sulfate par vingt-quatre heures ou une demi-tonne d'ammoniaque liquide. Avec de l'eau ammoniacale marquant environ 3° Baumé, qui donne 7 kilogrammes de sulfate au mètre cube, on estime qu'il faut employer de 60 à 80 kilogrammes de chaux par mètre cube d'eau de gaz. Un appareil double consomme 10 hectolitres de coke par jour et est desservi par un homme.

Appareil de Grüneberg (fig. 94). — Cet appareil est continu, c'est-à-dire alimenté d'eau ammoniacale d'une façon continue; l'eau, débarrassée de son ammoniaque, s'écoule sans interruption et sans qu'il y ait à manœuvrer aucun robinet, comme dans l'appareil indiqué ci-dessus.

Il se compose essentiellement d'une chaudière cylindrique verticale A chauffée, non par le fond, mais par une circulation de gaz chauds provenant d'un foyer latéral. Au centre de la chaudière est établi un tube vertical A descendant au-dessous du fond et fermé par un tampon muni d'un robinet de vidange. Au-dessus de la chaudière A est établi un vase C dans lequel on fait arriver

par E le lait de chaux préparé d'avance dans le réservoir supérieur G. Le vase C est surmonté d'une colonne de rectification analogue aux colonnes à rectifier des distilleries d'alcool. Des tubes FF

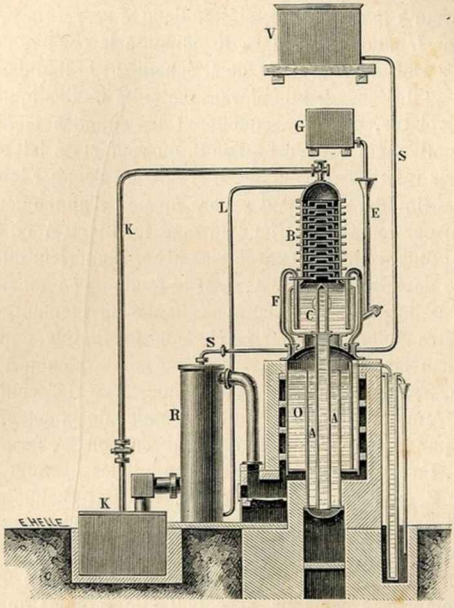

Fig. 94. — Appareil de Grüneberg.

partent du couvercle de la chaudière A et, se recourbant, pénètrent dans le vase C au-dessous d'un faux fond formé d'une plaque percée de petits trous. Les vapeurs produites en A pénètrent ainsi dans le vase C, où ils maintiennent une agitation continuelle, en même temps qu'ils échauffent le liquide qu'il contient. Les vapeurs mon-

tent ensuite dans la colonne B et traversent successivement les chambres à plateaux, où ils rencontrent l'eau ammoniacale qui descend en cascade de la chambre supérieure jusqu'au vase C. L'eau ammoniacale, bien séparée du goudron[1], descend d'un réservoir supérieur V par le tube S, circule dans le serpentin E, remonte ensuite par L pour entrer dans le dôme de la colonne de rectification. Les vapeurs provenant de C échauffent le liquide au fur et à mesure qu'il descend, lui enlèvent par suite méthodiquement ses éléments volatils, en lui abandonnant les liquides condensables qu'elles contiennent. Ce n'est qu'en C, au contact du lait de chaux, que ces sels volatils se décomposent et laissent dégager leur ammoniaque. Le liquide, contenant encore un peu d'ammoniaque, descend enfin par le tube intérieur au fond du tuyau A où la chaux se dépose; puis, remontant par-dessus le bord supérieur du tuyau A, se déverse dans la chaudière A, dont le fond, ne contenant pas ou presque pas de chaux et n'étant pas chauffé directement, n'est pas exposé à être endommagé par la chaleur. Le liquide, enfin débarrassé de son ammoniaque, sort du fond par le siphon *h* et arrive au tube *j*, formant fermeture hydraulique, d'où il s'écoule en filet continu. L'ammoniaque, arrivée au sommet de la colonne B, est conduite par le tube *k* dans le bac à absorption K', fermé par un couvercle. Un tuyau de dégagement conduit les gaz non absorbés autour de E, puis au-dessus du foyer. Ces gaz chauds commencent dès E à échauffer l'eau de gaz qui passe dans le serpentin.

Un appareil de ce genre, mesurant 3 mètres de haut et $1^{m},15$ de diamètre, est desservi par deux hommes et traite 10 tonnes d'eau ammoniacale par jour, avec 500 kilogrammes de charbon. La chaux consommée est égale à 10 ou 15 pour 100 du sulfate d'ammoniaque produit. Cet appareil coûte environ 5,000 francs.

Comme nous le disions plus haut, nous ne pouvons décrire tous les systèmes proposés; mais il est certain que les meilleurs appareils sont ceux qui sont de construction simple, dont le fonctionne-

1. Nous verrons plus loin qu'il est important d'enlever au goudron toute son eau pour que la distillation s'effectue sans danger.

ment n'exige pas de surveillance, et enfin dont le chauffage, autant qu'il est possible, peut être produit par la chaleur perdue des fours. Il est évident que la qualité du sulfate obtenu doit être irréprochable, c'est-à-dire qu'il doit être aussi pur que possible; la teneur théorique est de 25,755 pour 100 d'ammoniaque, correspondant à 21,21 d'azote. Il ne doit pas être acide; enfin, il doit être bien cristallisé. Il doit surtout ne pas contenir de sulfocyanure d'ammoniaque, qui le rendrait nuisible pour les plantes quand on l'emploie comme engrais.

L'ammoniaque liquide doit être incolore, limpide et ne pas avoir d'odeur goudronneuse; elle ne doit contenir ni sulfhydrate d'ammoniaque, ni chlore. Elle est livrée commercialement à la densité de 0,924, correspondant à 22° Baumé et contient alors 201 grammes d'ammoniaque pure au kilogramme ou 185 grammes au litre.

Sels ammoniacaux.

Nous n'avons pas à nous occuper des nombreuses combinaisons de l'ammoniaque, mais seulement des sels ammoniacaux qui existent dans les eaux de gaz, et qui sont des dérivés directs de la houille. Nous avons vu que l'ammoniaque existait dans ces eaux, surtout en combinaison avec les acides sulfurique, chlorhydrique, sulfhydrique, sulfocyanhydrique et carbonique. On pourrait isoler ces diverses combinaisons; mais nous avons déjà dit qu'en pratique on trouvait plus avantageux d'isoler d'abord l'ammoniaque et de la faire absorber ensuite par l'eau froide ou les acides sulfurique ou chlorhydrique, de façon à l'obtenir sous une forme commerciale.

Chlorhydrate d'ammoniaque (sel ammoniac, chlorure d'ammonium). — C'est sous cette forme que l'ammoniaque était surtout connue dans les temps anciens; on peut obtenir directement ce sel avec les appareils décrits plus haut, en faisant arriver jusqu'à saturation l'ammoniaque dans l'acide. Dans la pratique industrielle, on

le prépare soit par saturation directe, soit par double décomposition. Dans la première méthode, qui n'est plus guère employée, on sature les eaux de gaz par 10 à 15 pour 100 d'acide, selon le degré des eaux, jusqu'à réaction acide; les gaz dégagés sont dirigés sous un foyer, les matières goudronneuses se déposent, et au bout de quelques jours on tire au clair et on fait concentrer. Comme les solutions ammoniacales retiennent facilement du fer à l'état de protochlorure et de sel double, on peut faire passer avec précaution un courant de chlore pendant l'évaporation, puis précipiter le sesquichlorure formé par un peu de carbonate d'ammoniaque. On voit que cette méthode est tout à fait analogue à celle que nous indiquions pour le sulfate. Les liqueurs éclaircies sont ensuite concentrées jusqu'à la densité de 1,250, puis mises à cristalliser. La cristallisation dure huit à dix jours ; on a soin de remuer les solutions plusieurs fois par jour, afin d'obtenir de petits cristaux grenus, qui sont plus avantageux pour le traitement ultérieur. Les cristaux obtenus sont fortement colorés en brun; pour les purifier, on les soumet d'abord à un grillage à basse température. Ce grillage, conduit avec précaution, permet de carboniser ou de décomposer une partie des matières goudronneuses. On soumet ensuite le sel à la sublimation. Cette opération a non seulement pour but de le purifier, mais encore de lui donner une forme commerciale, en raison de ce préjugé de beaucoup d'acheteurs que le sel ammoniac sublimé est plus pur que le sel cristallisé.

Lorsqu'on place le sel ammoniac brut dans un vase chauffé à la partie inférieure, et dont la partie supérieure, fermée, est maintenue relativement froide, le sel se vaporise et vient se condenser sous la partie supérieure en formant une couche blanchâtre cornée ayant une densité de 1,450 et pouvant atteindre une épaisseur assez grande. Les vases employés pour les petites fabrications sont en grès. La figure 95 montre comment ils sont disposés; la partie inférieure du pot est en contact avec la flamme qui passe par les ouvertures de la voûte, et la partie supérieure est entourée de sable, supporté par une plaque en fonte que traversent les vases;

un couvercle percé recouvre le vase en grès. La sublimation, terminée par un léger coup de feu, dure de douze à quinze heures. Il arrive quelquefois que les vases se bouchent pendant l'opération; il faut alors percer le sel avec un vilebrequin trempé dans l'huile, en ayant soin d'éviter les vapeurs ammoniacales qui peuvent se dégager brusquement pendant cette opération.

Dans les usines où l'on sublime de grandes quantités de sel ammoniac, on remplace les pots en grès, qui augmentent beaucoup le prix de revient, parce qu'il faut les casser après chaque sublimation, par des cuves en fonte de 1 mètre à $2^m,50$ de diamètre, garnies intérieurement de briques réfractaires et fermées par un dôme en tôle couvert de sable. Au milieu est une petite ouverture fermée par une tringle en fer qui permet, lorsqu'on l'enlève, de laisser dégager les gaz produits. Le sel se sublime sous le couvercle, comme sur le dessus des pots en grès.

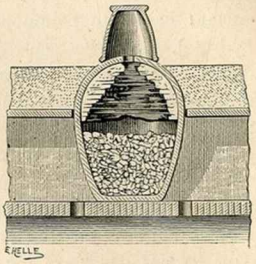

Fig. 95.
Sublimation du sel ammoniac.

La méthode par double décomposition consiste à mélanger en solutions concentrées du sulfate d'ammoniaque et du sel marin (chlorure de sodium). La réaction qui se produit est la suivante :

$$(AzH^4)^2SO^4 + 2NaCl = Na^2SO^4 + 2(AzH^4Cl).$$

Il se forme du sulfate de soude qui se précipite lorsqu'on concentre la solution, et du chlorure d'ammonium qui se dépose en cristaux lorsqu'on laisse refroidir la solution après enlèvement du premier sel. On reconnaît qu'il faut mettre à cristalliser lorsqu'il se forme à la surface de la liqueur des pellicules colorées.

Le sel ammoniac cristallisé est séché, puis soumis à la sublimation comme ci-dessus. Quelquefois, s'il n'est pas vendu en masses sublimées, le sel ammoniac est livré en pains compacts. Pour les

obtenir, on verse une bouillie de cristaux de sel ammoniac mélangés avec une solution saturée bouillante du même sel dans des formes coniques où il se solidifie, puis s'égoutte. Le sel ammoniac est employé pour le décapage des métaux à souder, à étamer ou à galvaniser, pour la pharmacie, pour la fabrication des couleurs et l'impression des tissus.

Carbonate d'ammoniaque. — Le carbonate existe tout formé dans les eaux ammoniacales et constitue même la plus grande partie des sels qu'elles contiennent. On préfère cependant le préparer en partant du sulfate d'ammoniaque (autrefois, on se servait du chlorhydrate). A cet effet, on sublime un mélange de 37 kilogrammes de sulfate et de 48 kilogrammes de carbonate de chaux (craie), dans des cornues horizontales en fonte. Le mélange des vapeurs d'ammoniaque, d'acide carbonique et de vapeur d'eau se dégage et va se condenser dans des chambres en plomb où le sel se dépose[1].

A la suite de la chambre en plomb, les vapeurs qui ne se sont pas condensées sont recueillies dans des touries contenant de l'eau. L'opération dure environ huit heures, au bout desquelles on trouve dans les cornues un résidu de sulfate de chaux que l'on enlève de temps en temps.

Le sel ammoniac est employé en médecine, en teinture, pour l'avivage de certaines couleurs, pour le lavage des laines.

Abandonné à l'air, il en absorbe l'acide carbonique et se transforme en bicarbonate d'ammoniaque.

Sulfhydrate d'ammoniaque. — Ce sel, contenu dans les eaux de gaz, se prépare comme les sels ammoniacaux dont nous venons de parler, en partant du sulfate ou bien de l'ammoniaque en solution. L'ammoniaque dégagée, mise en présence d'hydrogène sulfuré, donne naissance à du sulfhydrate d'ammoniaque, qui se dépose sous forme d'aiguilles incolores transparentes; ou plus pra-

1. On obtient ainsi 18 kilogrammes de carbonate, que l'on sublime une seconde fois si on veut l'obtenir très blanc. Cette opération se fait dans des chaudières en fonte à dôme de plomb, chauffées par la chaleur perdue du four qui chauffe les cornues. La température nécessaire n'est que de 70° à 80°, de sorte que cette sublimation se fait quelquefois au bain-marie.

tiquement en envoyant de l'hydrogène sulfuré dans de l'ammoniaque caustique en solution aqueuse jusqu'à saturation.

Le sulfhydrate d'ammoniaque est un réactif très employé dans les laboratoires.

Sulfocyanure d'ammonium. — Ce sel est extrait des eaux ammoniacales épuisées, c'est-à-dire dont on a déjà extrait l'ammoniaque par un procédé quelconque de distillation. Le procédé Spence, primitivement suivi, consistait à traiter les eaux distillées après repos pour clarification par une quantité égale de sulfate de cuivre et de sulfate de fer; on obtenait un précipité blanc-gris de sulfocyanure de cuivre qu'on décomposait ensuite par le sulfure d'ammonium, il restait du sulfure de cuivre. Aujourd'hui le sulfocyanure d'ammonium, servant de point de départ à la fabrication de divers sulfocyanures employés par les fabricants de produits tinctoriaux, on retire des eaux de gaz du sulfocyanure de baryum, obtenu, en substituant, dans l'opération décrite ci-dessus, au sulfure d'ammonium, le sulfure de baryum.

Si, par exemple, on veut alors obtenir du sulfocyanure d'alumine, on mélange des solutions de sulfate d'alumine et de sulfocyanure de baryum. Le sulfate de baryte se précipite et il reste une solution de sulfocyanure d'alumine.

Une tonne d'eau de gaz épuisée contient environ 6 kilogrammes de sulfocyanure d'ammonium et, dans certains cas, les eaux ayant produit une tonne de sulfate d'ammoniaque peuvent encore fournir 100 kilogrammes de sulfocyanure de baryum. Ce sel est très employé aujourd'hui par les fabricants de produits tinctoriaux, pour la teinture et l'impression des tissus.

Traitement des vieilles matières d'épuration.

Nous avons vu, en traitant de l'épuration du gaz, que les matières employées, surtout les oxydes de fer, retiennent un certain nombre de produits solubles dans l'eau et du soufre en abondance.

L'industrie a su tirer parti de ces matières, considérées d'abord comme des résidus encombrants.

En effet, si l'on examine les analyses de ces produits que nous donnons dans le tableau ci-dessous, on peut voir le nombre de produits divers utilisables que l'on en pourrait retirer. Mais en général elles sont traitées seulement pour en extraire le *soufre*, le *sulfocyanure*, le *ferrocyanure d'ammonium* et le *sulfate d'ammoniaque*.

Les analyses indiquées ci-dessous ont été faites par M. Davis.

SUBSTANCES CONTENUES.	DÉSIGNATION DES MATIÈRES D'ÉPURATION.			
	HYDRATE de fer précipité.	FER limoneux.	SULFATE de fer.	OXYDE DE FER (mauvaise qualité).
Soufre	62,44 à 67,18	48,76 à 57,44	48,76 à 55,44	32,42 à 42,16
Hydrate de fer. . .	17,74 à 19,36	15,96 à 26,42	5,04 à 6,84	8,72 à 20,40
Sciure de bois. . .	1,98 à 4,72	1,14 à 3,72	1,04 à 3,24	2,16 à 9,76
Carbonate de chaux	» à 1,04	» à 1,73	»	» à 10,36
Sulfocyanure d'ammonium	1,99 à 2,74	0,94 à 1,93	1,98 à 3,41	1,18 à 4,72
Ferrocyanure d'ammonium.	Traces	Traces à 0,21	0,27 à 0,64	Traces à 0,44
Matières goudronneuses	0,72 à 1,22	0,92 à 1,14	0,72 à 1,18	0,55 à 1,04
Matières insolubles dans l'acide chlorhydrique. . . .	3,66 à 5,74	0,74 à 11,42	7,82 à 12,68	12,12 à 20,71
Bleu de Prusse . .	»	Traces à 0,17	Traces à 1,74	Traces à 0,64
Sulfate de chaux. .	»	»	Traces à 1,74	— à 3,23
Sulfate d'ammoniaque.	»	»	12,78 à 16,72	— à 1,14
Eau et perte . . .	4,72 à 5,76	7,22 à 10,82	7,98 à 9,22	7,49 à 33,41

Le traitement suivi pour le mélange de Laming ou les matières analogues, comprend tout d'abord une lixiviation à froid qui a pour but d'en enlever les produits ammoniacaux solubles. Le résidu insoluble dans l'eau est mélangé avec de la chaux en pâte claire (représentant 30 kilogrammes de chaux sèche par mètre cube) et brassé.

On le laisse en repos quelques heures, puis on le soumet à une nouvelle lixiviation à l'eau froide dans un appareil de lavage méthodique. Les sels de chaux obtenus, et qui consistent en partie en ferrocyanure de calcium, sont en dissolution. Les premières eaux plus concentrées sont traitées par du carbonate de potasse dont l'acide carbonique forme avec la chaux du carbonate de chaux insoluble, tandis que le prussiote de potasse reste dans la solution. Cette dernière, tirée au clair, est concentrée par évaporation, et le prussiate de potasse (ou ferrocyanure) se dépose sous forme de cristaux. Les dernières eaux, trop faibles pour l'extraction du prussiate par concentration, sont traitées par une solution de sulfate de fer; il se forme un précipité blanc de ferrocyanure de fer (Fe^2, $Fe\,Cy^6$) qui, par suite de l'action oxydante de l'air, se transforme en bleu de Prusse basique.

Le prussiate jaune de potasse sert à la préparation du bleu de Prusse, du prussiate rouge, du cyanure de potassium. Il est très employé en teinture; on l'utilise quelquefois pour aciérer superficiellement le fer.

La vieille chaux d'épuration qui renferme une certaine quantité d'ammoniaque libre, est d'abord traitée par un courant de vapeur d'eau qui traverse ensuite de l'acide sulfurique; on obtient ainsi du sulfate d'ammoniaque. La chaux est ensuite soumise à un lessivage méthodique; la liqueur qui contient les combinaisons du cyanogène est traitée comme ci-dessus pour le ferrocyanure et le bleu de Prusse.

D'après Krafft (cité par Wagner), 1,000 kilogrammes de chaux d'épuration donnent 15 à 20 kilogrammes de sels ammoniacaux et 12 à 15 kilogrammes de bleu de Prusse. Gauthier Bouchard, à l'usine d'Aubervilliers, retire 15 kilogrammes de bleu de Prusse d'un mètre cube de mélange de Laming. Une tonne de charbon en donnerait ainsi 2 à 4 kilogrammes.

Dans son rapport sur l'Exposition de Vienne, Kopp indique la méthode suivie à l'usine Kunheim de Berlin : les vieilles matières à base d'oxyde de fer sont bouillies avec un lait de chaux ; les eaux

de lavage reposées sont traitées par du sulfate de potasse qui donne ainsi, par double décomposition avec les cyanures, une solution de ferrocyanure de potassium, laissant un résidu de sulfate de chaux. La matière épuisée est traitée pour obtenir le soufre et le résidu employé à nouveau pour l'épuration.

L'extraction du soufre des matières d'épuration de Laming

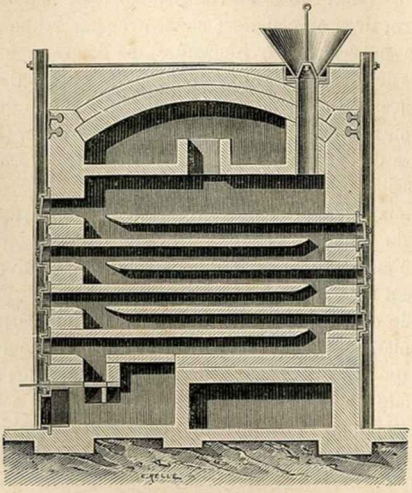

Fig. 96. — Four de Hills.

dont on a retiré les produits solubles, se fait en général par calcination ou distillation. Hills a fait breveter un four, figure 96, analogue au four à étages, système Michel Perret ou Malétra. Les matières répandues en couches de quelques centimètres sur chaque plaque, sont chauffées par la combustion des couches inférieures et descendues avec un rable d'étage en étage, au fur et à mesure de la décomposition.

Le soufre, au contact de l'air chaud, se transforme en acide sulfureux qui se dégage et qui est ensuite utilisé pour la fabrication de l'acide sulfurique. La mise en marche du four se fait par un chauffage préalable avec un combustible quelconque allumé au bas du four et lorsque ce dernier est assez chaud on charge le mélange sec à l'étage supérieur. En marche normale, la chaleur produite par la combustion du soufre suffit pour entretenir la température à un degré convenable.

Cowen a construit pour ce même traitement des fours contenant des cornues, comme un four de distillation du gaz; les cornues sont rangées sur une seule ligne horizontale.

On pourrait employer également avec avantage pour cette opération des fours à sole tournante.

En 1862, les usines à gaz de Londres, livraient ainsi aux fabricants 10,000 tonnes de soufre, correspondant à 30,605 tonnes d'acide sulfurique.

On a proposé également diverses méthodes pour l'extraction du soufre en substance. Le procédé par fusion sous l'eau à haute pression s'exécute dans des chaudières fermées. Le soufre fondu se rassemble au fond du récipient, on le chasse alors de la chaudière par un robinet placé au fond, en se servant de la pression de la vapeur s'exerçant à la surface, puis on le raffine. Le raffinage par le procédé de Schaffner consiste à insuffler de l'air pendant quelques heures à travers la masse de soufre dans une chaudière en fonte ouverte.

Enfin, on pourrait encore extraire le soufre au moyen d'un dissolvant approprié, tel que l'huile de goudron ou le sulfure de carbone.

Nous croyons intéressant de noter les cours commerciaux actuels des différents produits que nous venons d'énumérer, pour indiquer la valeur réelle de ces sous-produits, dont on a souvent exagéré ou trop diminué la valeur :

Le sulfate d'ammoniaque vaut environ . . .	30 fr.	les 100 kilogr.
La dissolution blanche d'ammoniaqne à 22°.	40	—
Le carbonate d'ammoniaque.	90	—

Le chlorhydrate d'ammoniaque	65 fr.	les 100 kilogr.
Le prussiate de potassium	170	—
Le sulfocyanure d'ammonium.	250	—
Le soufre raffiné.	13	—

Le goudron.

Nous avons vu, lorsque nous avons traité de la théorie de la fabrication du gaz, que le goudron constituait un des quatre groupes de produits résultant de la distillation de la houille en vase clos et que 100 kilogrammes de houille fournissaient de 4 à 5 kilogrammes de goudron. Nous avons ensuite donné une énumération des principaux composés qu'il contient, surtout au point de vue de l'importance qu'ils possèdent pour la qualité du gaz fabriqué. Nous allons examiner, maintenant, le parti que la science et l'industrie ont su tirer de cette matière. Au début de l'industrie du gaz, le goudron était une substance encombrante et il n'y a que peu d'années que les produits qu'on en peut extraire directement ont été découverts. Pendant longtemps les usines ne savaient comment se débarrasser des goudrons; aussi essaya-t-on d'abord de le brûler dans les foyers. Nous avons parlé de cette application dans le chapitre relatif au chauffage des cornues. Mais ce mode d'emploi n'était pas très avantageux et de nombreux essais furent faits pour en tirer un meilleur parti dans les usines mêmes, en cherchant à en fabriquer du gaz d'éclairage. Beaucoup d'inventeurs : Kœcklin, Perpigna, Droinet, Isoard, etc., proposèrent des appareils pour décomposer le goudron au rouge dans des cornues. Mais aucun de ces procédés n'eut d'applications industrielles suivies. Schilling donne pour raison de ces insuccès, que les substances qui, par leur décomposition à de hautes températures donnent des gaz permanents, existent en trop petite quantité dans le goudron. Nous pensons que cette opinion peut être exacte dans les conditions ordinaires de la distillation, mais qu'il serait possible d'en obtenir de meilleurs résultats : en partant, non du goudron brut, qui contient, trop de carbone en suspension, mais des huiles lourdes

avec lesquelles on est arrivé à obtenir pratiquement d'excellent gaz d'un grand pouvoir éclairant.

Une autre application du goudron de houille a été la conservation des matériaux de construction, du bois et des métaux par *imprégnation* ou par peinture. Les pierres, briques et autres matériaux de construction plongés dans le goudron bouillant, résistent très bien aux vapeurs acides et aux agents atmosphériques; pour le bois et les métaux il est préférable d'employer des vernis composés spécialement à base de brai dissous dans l'huile lourde. Le carton pour toitures, couvert d'une couche de goudron dont on a enlevé une partie des éléments volatils, se conserve bien si l'on prend soin de le repeindre de temps en temps.

On a employé le goudron à la fabrication des asphaltes factices, puis est venue la fabrication du charbon de Paris de Popelin-Ducarre; nous avons vu, en décrivant cette industrie, que cette fabrication employait une grande quantité de goudron, de même que les briquettes de houille agglomérée; mais dans ces diverses applications on se sert de préférence de brai et, pour l'obtenir, pendant assez longtemps on s'est contenté de distiller le goudron dans des chaudières ouvertes, laissant perdre à l'air les produits volatils qui n'avaient pas encore trouvé d'emploi.

La fabrication du noir de lampe avec le goudron qui pourrait l'employer à l'état brut, donne elle-même de moins bons produits que si l'on se sert des huiles lourdes. Ce fut pendant quelque temps un des principaux débouchés pour ces produits, tandis que le brai avait un écoulement assuré par les industries dont nous venons de parler.

Le goudron ne commença à acquérir véritablement de valeur que lorsqu'on eut trouvé à utiliser les produits volatils séparés du brai par distillation. Les premières substances retirées dont on sut tirer parti furent les huiles légères à brûler et la benzine, puis vinrent les procédés de conservation du bois par les huiles créosotées. Enfin la fabrication des produits dérivés de la benzine, de l'acide phénique, de l'anthracène et de toutes les matières colo-

rantes qui remplacent peu à peu les anciens produits tinctoriaux naturels. Aujourd'hui nous en sommes arrivés à fabriquer des produits comestibles avec les hydro-carbures du goudron et la saccharose menace la fabrication du sucre.

Nous ne suivrons pas les dérivés de la houille jusqu'à la fabrication de ces produits. Un volume ne suffirait même pas à parler convenablement des premiers dérivés obtenus. Nous ne pourrons qu'indiquer les substances que l'on retire du goudron brut par un premier traitement, nous contentant d'énumérer les principaux produits que l'on peut extraire de chacun des groupes de substances obtenues.

La méthode généralement suivie pour traiter le goudron de houille consiste à lui faire subir une distillation fractionnée.

Si l'on chauffe progressivement un mélange de liquides ayant des points d'ébullition différents, les plus volatils distilleront les premiers, et si l'on a soin de recueillir successivement les liquides condensés on peut ainsi les séparer.

La distillation par fractionnement, la plus simple, est celle d'un mélange d'eau et d'alcool, que chacun connaît; en élevant la température d'un pareil mélange, l'alcool distille le premier et l'on arrête le chauffage lorsque l'on juge qu'il ne reste plus que l'eau.

Mais la séparation n'est pas absolue : en pratique, le liquide le plus volatil domine dans le liquide condensé, mais il est mélangé avec d'autres substances moins volatiles. Il se produit, en effet, un certain nombre de phénomènes dont le principal est un entraînement mécanique par les molécules de vapeurs qui empêchent la séparation d'être complète. Il arrive également que, si le liquide le moins volatil est en petite quantité, il est entraîné tout entier par l'évaporation d'une portion du liquide le plus volatil. Le premier moyen employé pour effectuer une séparation plus complète est une nouvelle distillation ou rectification; mais il est préférable, et c'est ce que l'on a réalisé avec les appareils perfectionnés employés aujourd'hui pour distiller l'alcool, d'opérer la rectification dans le même appareil distillatoire. Au lieu de recueillir

les liquides qui passent à des températures différentes, de redistiller chaque portion de la même façon, de réunir entre elles les liqueurs qui passent à la même température et de les distiller encore, on ne recueille pas directement la vapeur qui s'élève du mélange de liquides, mais on *l'analyse* par le refroidissement, de façon à faire retomber dans la chaudière la portion la moins volatile et à ne laisser arriver dans le réfrigérant que la vapeur qui aura pu résister à la condensation. Cette méthode ne pourrait pas s'appliquer directement à la distillation des goudrons bruts qui contiennent des mélanges trop complexes, mais elle est employée pour la séparation des produits de première distillation et surtout pour arriver à la séparation aussi complète que possible des matières les plus volatiles, telles que les huiles légères.

Lunge, dans son très intéressant traité de la distillation des goudrons de houille, auquel nous emprunterons beaucoup de renseignements, donne un schéma synoptique de la distillation du goudron, qui permet de saisir la série des opérations que l'on fait subir à la matière brute, puis aux divers produits obtenus; il s'agit ici d'un traitement plutôt théorique que pratique, car une foule de circonstances obligent à modifier l'ordre et la nature de ces opérations. Nous croyons intéressant de reproduire ce tableau en le résumant.

DÉSHYDRATATION

Par le repos. . . . . } pour séparer l'eau ammoniacale.
Pendant le chauffage. . . . . }

DISTILLATION

Ire *Fraction* jusqu'à la température de 170° } de l'*Essence de naphte* rectifiée comme suit :

1° Produit jusqu'à 110° et redistillé à la vapeur : Benzol à 90 pour 100.
2° — 140° id. Benzol de 90 à 50 pour 100.

La fraction moyenne redistillée donne : naphte pour dissolution.

3° Produit jusqu'à 170°, fractionné par distillation : } 1° Naphte pour dissolution. 2° Naphte à brûler.

Le résidu passe à la IIe Fraction.

IIe *Fraction* de 170° à 230° : *huile moyenne.*

Cette huile est traitée par une lessive de soude.
La partie liquide distillée donne :

1er produit. — Liquide mélangé avec 3 de Ire Fraction.
2e — Naphtaline.

La lessive décomposée donne de l'acide phénique.

IIIe *Fraction* de 230° à 270° : *huile lourde.*

Séparée en huile créosotée pour imprégnation et huile de graissage.

IVe *Fraction. — Huile à anthracène.*

Cette huile filtrée et pressée donne :

1° Produits liquides repassés avec les produits de IIIe Fraction.
2° Produits solides : anthracène et phénanthrène brûlé pour noir de lampe.

Ve *Fraction. — Brai.*

Utilisé tel quel ou redistillé en produits repassés en IIIe et IVe.
Le résidu solide est du coke.

Ce tableau donne ainsi une idée d'ensemble du traitement du goudron par la méthode de distillation ; c'est celle qui est généralement suivie. Nous allons passer en revue chaque phase des opérations de fractionnement, mais nous croyons plus simple d'étudier d'abord la distillation du goudron brut, puis de réunir les produits des fractionnements sous trois titres seulement : les huiles légères, les huiles lourdes et le brai, en donnant au fur et à mesure le traitement des sous-produits de chacune de ces substances ; nous suivrons ainsi les produits selon la marche de la distillation.

Distillation du goudron brut.

Avant d'être distillé, le goudron brut venant des usines à gaz doit être séparé le plus possible des eaux ammoniacales qu'il contient encore, sans cela la distillation serait troublée par la pré-

sence de la vapeur d'eau produite au sein de la masse et des explosions pourraient avoir lieu. Plusieurs moyens ont été proposés, tels qu'un chauffage préalable. Girard et de Laire dans leur excellent ouvrage sur les dérivés de la houille, recommandent d'opérer ce chauffage à 80° ou 90° dans de grandes chaudières à double fond ou contenant un serpentin où circule la vapeur. Généralement on se contente de laisser le plus longtemps possible les goudrons en repos, l'eau ammoniacale se sépare peu à peu en montant à la surface.

Les goudrons sont ensuite introduits dans de grandes chaudières en tôle et de forme variable (appelées *tar stills* par les Anglais).

Ces chaudières sont ou horizontales ou verticales; les premières ont généralement la forme d'un cylindre allongé contenant de 6 à 18 tonnes de goudron. La Compagnie Parisienne emploie des chaudières en forme de coffre avec un fond recourbé intérieurement pour faciliter la dilatation, leur capacité est de 6,500 kilos.

Les chaudières verticales sont cylindriques avec fond concave et couvercle convexe; elles sont établies dans un massif en maçonnerie de briques dans lequel sont ménagés un foyer intérieur et des carneaux permettant à la flamme de circuler tour autour des parois.

Les tôles employées pour la construction ont de 8 à 10 millimètres d'épaisseur au maximum, 13 millimètres pour les très grandes chaudières.

Qu'elles soient verticales ou horizontales, ces chaudières sont toutes munies d'une ouverture fermée par un tampon autoclave, d'un dôme recueillant les vapeurs produites et auquel est fixé le tuyau de dégagement, d'un tube d'arrivée du goudron et d'un robinet de vidange. En général on établit sur les chaudières une soupape de sûreté pour le cas d'engorgement dans les appareils de condensation ou le tuyau de sortie, ou même en prévision des excès de pression qui pourraient se produire pour une cause quelconque.

Beaucoup de chaudières comportent également un tube percé de trous permettant d'y amener de la vapeur, et un thermomètre pour vérifier la température pendant la distillation.

Les vapeurs produites accompagnées de gaz permanents sont reçues dans un réfrigérant ayant la forme d'un serpentin en tube de fer ou de plomb disposé dans un réservoir cylindrique ou rectangulaire refroidi par un courant d'eau froide. Les vapeurs se condensent dans le réfrigérant et les liquides produits s'écoulent dans un appareil distributeur spécial, muni de robinets qui permettent de les envoyer dans différents récipients où on les emmagasine.

Aujourd'hui on reçoit souvent ces liquides dans des cylindres disposés comme monte-jus, de telle sorte que lorsqu'on veut les vider il suffit de fermer le robinet d'arrivée du liquide et d'exercer à la surface une pression au moyen d'air comprimé pris sur une conduite générale; le liquide est alors refoulé jusqu'au réservoir, où on l'emmagasine.

Lorsque le liquide condensé s'écoule du réfrigérant dans le distributeur, il tombe par un siphon dans une cloche renversée en verre où l'on peut l'examiner et en prendre la densité; on soude à la sortie du réfrigérant un tube de dégagement pour les gaz permanents. Ces gaz sont envoyés après un lavage dans la cheminée de l'usine, car généralement leur pouvoir éclairant n'est pas suffisant pour l'éclairage.

Nous donnons fig. 97 l'ensemble des appareils employés pour la distillation des goudrons bruts.

Lorsque la chaudière est remplie de goudron jusqu'au trop plein *d*, de manière à laisser de 30 à 40 centimètres de vide, on met en chauffe; au bout de peu de temps, le goudron se sépare des dernières quantités d'eau ammoniacale qu'il contient et comme la masse augmente de volume en s'échauffant, l'eau qui monte à sa surface s'écoule par le robinet de trop plein. Le feu doit être conduit avec précaution pour éviter le boursouflement.

La distillation commence par le dégagement d'une certaine

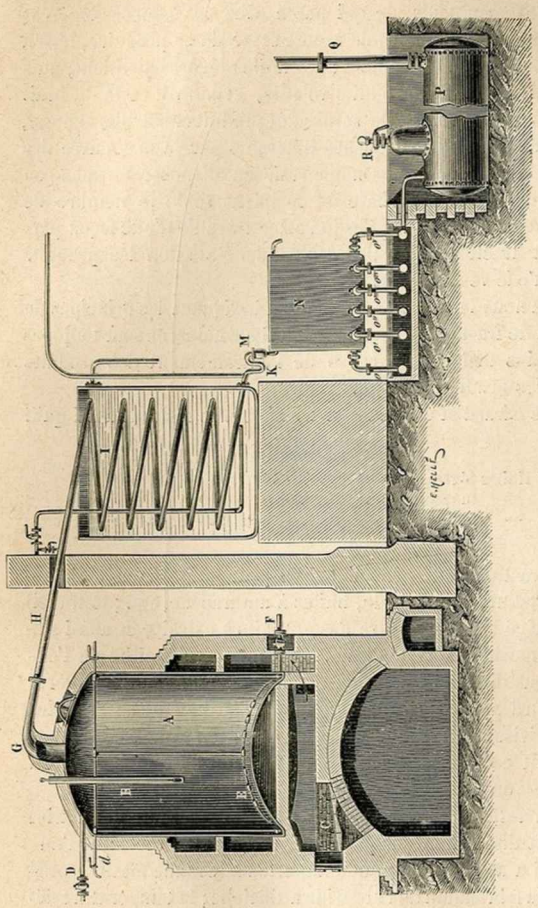

Fig. 97. — Appareils employés pour la distillation des goudrons bruts.

A, Chaudière. — B, Thermomètre contenu dans un tube en fer garni de limaille. — C, Foyer. — *d*, Robinet de trop plein. — D, Tube en fonte amenant le goudron brut. — E, Tube de vapeur dont la partie inférieure en croix est percée d'une quantité de petits trous. — F, Robinet de vidange du brai. — G, Dôme. — H, Tuyau de sortie des vapeurs. — I, Réfrigérant. — K, Siphon. — L, Tuyau de conduite des gaz permanents. — M, Cloche en verre où passent tous les produits. — N, Récipient distributeur. — *o o' o'' o''' o''''* *o''*, Robinets en fer permettant de diriger les liquides dans les conduits correspondants aux récipients élévateurs spéciaux, en nombre égal au nombre de fractions que l'on veut recueillir. — P, Récipient élévateur. — Q, Tuyau d'ascension allant au réservoir correspondant. — R, Conduite d'air sous pression avec robinet.

quantité d'eau ammoniacale qui passe avec des essences légères; lorsque ce mélange qui est mis à part cesse de se produire, le feu doit être poussé plus activement; les huiles légères distillent, puis viennent à leur tour les produits volatils, et enfin il reste du brai.

Au fur et à mesure que la nature des produits recueillis change, on les envoie dans des récipients différents par la manœuvre des robinets o o^{I} o^{II} o^{III} o^{IV} o^{V}. On pourrait en disposer un plus ou moins grand nombre à la base du récipient selon le nombre de fractions que l'on veut faire. Chaque usine travaille d'une façon particulière et fractionne les liquides condensés selon les produits spéciaux qu'elle veut obtenir.

Comme nous le disions plus haut en indiquant les principes de la méthode de fractionnement, les produits condensés sont toujours plus ou moins mélangés à cause de l'entraînement des produits lourds par les produits volatils.

D'après Girard et de Laire on fractionne le résultat ainsi qu'il suit :

1°	Huiles légères passant jusqu'à	140°.
2°	— moyennes de.	140° à 210°.
3°	— lourdes de.	210° à 350° et au-dessus.

et chaque fraction peut être subdivisée pour huiles à acide phénique, à naphtaline, huile lourde, huiles à anthracène, etc. ; le travail doit être dirigé selon la nature des produits à extraire et aussi suivant la composition des goudrons traités. Pour la facilité de l'exposition, nous divisons les produits simplement en huiles légères et huiles lourdes, mais ce n'est qu'une séparation idéale; car les usines subdivisent les produits recueillis en cinq ou six fractions et obtiennent comme produit final un brai qui suivant les cas est *liquide*, *gras* ou *sec*.

En général, dans les conditions actuelles de cette industrie, on pousse la distillation jusqu'au brai sec, afin de recueillir l'anthracène qui a acquis une grande importance comme matière première pour la fabrication de l'alizarine artificielle; la température dé-

passe alors 350° et le réfrigérant ne doit plus être alimenté. L'eau doit y être bouillante pour éviter la solidification en masse des vapeurs d'anthracène, de carbazol, pyrène, etc., qui passent à la fin de la distillation.

Cependant on trouve quelquefois plus avantageux de s'arrêter vers 270° et de traiter le brai dans une chaudière à part pour la séparation des huiles à anthracène. En tous cas, le brai chaud et encore liquide s'écoule par le robinet de vidange toujours placé du côté opposé au foyer. Il est dirigé au moyen de conduits en tôle couverts dans des fosses spéciales où il se refroidit.

La fin de la distillation est souvent facilitée par l'introduction dans la cornue de vapeur surchauffée dont le rôle est d'abord d'entraîner les produits à recueillir et ensuite d'empêcher l'obstruction des tuyaux du réfrigérant.

Les rendements sont très variables et dépendent non seulement de la nature des goudrons employés, mais encore de la manière dont la distillation est conduite. Nous donnons ci-dessous la moyenne d'un grand nombre de fabriques :

Eau ammoniacale. . . . } et perte. } . .	35 kilogrammes.
Essence légère. . . . . } et perte. } . .	20 —
Huiles légères	55 —
— moyennes	170 —
— lourdes	210 —
Brai.	510 —
	1,000 kilogrammes.

Il est évident que ces chiffres moyens sont sujets à de grandes variations selon les circonstances.

Il est très difficile de déterminer quelle est l'importance des industries s'occupant du traitement des goudrons, cependant il n'y aurait pas lieu de s'étonner du chiffre de 500,000 tonnes de goudrons traités en Europe. Les auteurs qui citent des chiffres à cet égard sont en tel désaccord qu'il n'y a lieu de compter sur aucun d'eux; cependant ce total de 500,000 tonnes paraît admissible.

La statistique du commerce des produits chimiques pour l'année 1887 donne, pour les dérivés de la houille :

	Importations.	Exportations.
Essences de houille	1 605 000 kilogr.	152 000 kilogr.
Aniline et autres	7 778 000 —	1 430 000 —

Les huiles légères.

Les huiles légères obtenues au commencement de la distillation et séparées de l'eau ammoniacale sont mélangées avec les huiles obtenues, jusqu'à la température de 140° et traitées, d'abord par 10 pour 100 d'acide sulfurique concentré qui se combine avec les bases, dissout les oléfines, et forme des corps sulfoconjugués avec les substances à éliminer. On soumet ensuite les liquides éclaircis à l'action d'une lessive légère de soude à 6 pour 100 terminée par un lavage à l'eau; après cette épuration chimique, ces huiles sont soumises à la rectification, les produits qui passent à la distillation sont des benzols ou homologues du benzol.

Quelquefois on traite à part les premières huiles ou essences légères qui passent avec l'eau ammoniacale de façon à en obtenir des essences pesant de 0,780 à 0,800 et employées pour la fabrication de vernis à base de brai.

La rectification des huiles légères passant jusqu'à la température de 140° donne de la benzine ordinaire (mélange de différents corps, benzols et homologues, toluène, etc.).

Si l'on veut en extraire le benzol, il faut faire subir à la benzine une rectification spéciale en recueillant les produits qui distillent de 80 à 120°. Ces derniers peuvent alors servir à la préparation de l'aniline.

Les purifications par rectification donnent difficilement des benzines pures; mais comme on sait que la benzine jouit de la propriété de cristalliser à basse température, on peut en profiter pour la séparer des hydrocarbures analogues qui ne cristallisent pas par refroidissement.

Pour arriver industriellement à une rectification des benzines

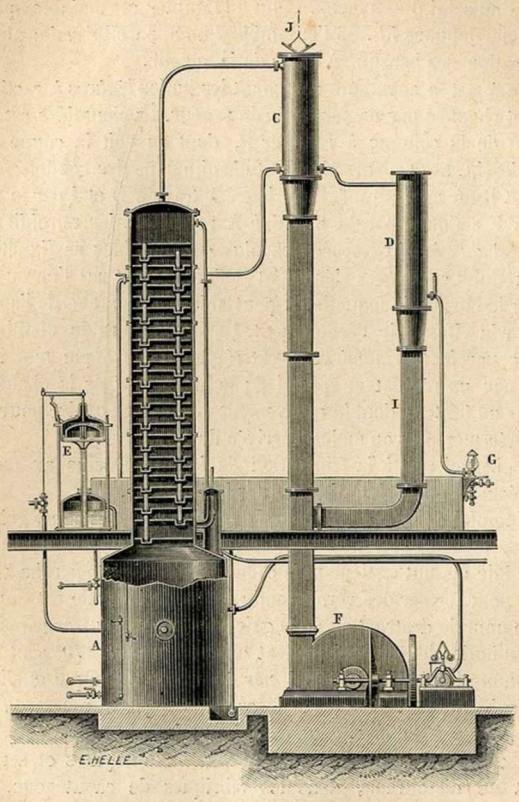

Fig. 98. — Appareil Savalle pour la rectification des benzines.

aussi complète que possible, on emploie le chauffage à la vapeur

dans des appareils spéciaux; un des plus répandus est celui de Savalle ou celui de Siemens. Celui de Coupier est moins employé.

Nous donnons fig. 98 l'ensemble d'un appareil Savalle pour la rectification des benzines à l'aide de la vapeur.

En A est la chaudière contenant les huiles légères à rectifier ; elle est chauffée par un serpentin de vapeur. La chaudière est surmontée de la colonne à rectifier B, dont on voit la coupe dans notre dessin. Les vapeurs circulent ensuite dans des condenseurs à air C et D où un courant d'air, lancé à travers H et I par le ventilateur F actionné par la machine à vapeur L, les refroidit à un point tel que les hydrocarbures plus condensables se liquéfient. Les produits condensés s'écoulent définitivement par l'éprouvette G dans la cloche de laquelle on peut suivre la marche de l'opération par la vitesse de l'écoulement. La température de distillation accusée par le thermomètre C est réglée d'une façon très ingénieuse par un régulateur spécial E ; la pression dans la chaudière agit sur un flotteur dont le mouvement vertical est utilisé pour ouvrir ou fermer plus ou moins l'arrivée de la vapeur.

Le benzol sert à la fabrication de la nitrobenzine au moyen de la réaction de l'acide nitrique sur la benzine[1].

L'emploi de la benzine pour le nettoyage des étoffes, grâce à ses propriétés dissolvantes des corps gras, est universellement connu. Elle dissout également le caoutchouc, la gutta-percha et les résines pour former des vernis; enfin en médecine, elle est souvent utilisée pour la destruction de la gale, des poux et autres parasites.

Les huiles légères qui passent ensuite jusqu'à 170° sont traitées comme les huiles à benzol par épuration chimique et distillation subséquente. Les parties les plus légères repassent aux huiles légères à rectifier, pour benzols, et les plus lourdes d'une densité de 0,85 à 0,87 sont employées comme naphtes et servent d'agent de dissolution, dans les fabriques de caoutchouc. Les

1. La nitrobenzine ou essence de mirbane est très employée par la parfumerie, et, par l'action d'agents réducteurs, elle est le point de départ de la fabrication des couleurs d'aniline.

naphtes pesant 0,880 sont utilisés comme huile de naphte à brûler. On peut également les faire servir à la carburation du gaz d'éclairage en vue d'augmenter son pouvoir éclairant. Enfin les résidus passent au traitement ultérieur des huiles lourdes.

Huiles lourdes.

Pendant longtemps les huiles lourdes sont restées un produit n'ayant pas d'emploi suffisant. Pour la consommation des quantités obtenues par la distillation des goudrons, de même que pour ces derniers, on a dû chercher à leur trouver des applications. Les études faites à ce sujet ont peu à peu permis d'en consommer des quantités assez considérables. Enfin l'examen plus approfondi de ces produits a permis depuis un certain temps d'en tirer avantageusement parti, en trouvant l'emploi des divers produits qu'elles contenaient.

Les principaux usages de l'huile lourde que nous allons passer en revue, sont : l'imprégnation des bois pour leur conservation; l'emploi comme combustible; la fabrication du noir de fumée.

Elles ont été également utilisées pour ramollir le brai, comme nous l'avons vu dans la fabrication des agglomérés de houille, pour le graissage des machines, pour la fabrication de gaz d'éclairage en les décomposant au rouge dans des cornues spéciales; pour l'éclairage en les brûlant dans des lampes spéciales telles que celles de Dony ou Hartmann.

Imprégnation des bois. — Les huiles lourdes, riches en créosote et en phénol, doivent à la présence de ces corps des propriétés antiseptiques remarquables. Aussi a-t-on pensé à les appliquer à l'imprégnation des bois pour assurer leur conservation.

Pour arriver à une imprégnation complète, M. Bréant le premier, recommanda de les placer dans un cylindre où le vide était fait soit par une pompe, soit par la condensation de vapeur injectée préalablement. Bethell et Payn, en Angleterre, ont construit des appareils de grande dimension pour effectuer cette opération.

Enfin en France MM. Legé et Peronnet ont établi un matériel spécial dont la figure 99 donnera une idée. Il se compose d'un cylindre horizontal en tôle forte, mesurant 12 mètres de long sur $1^m,60$ de diamètre, dans lequel le bois est introduit au moyen de wagonnets par une des extrémités qui est ensuite fermée par une porte boulonnée. Une machine à vapeur locomobile fournit de la vapeur qui remplit le cylindre. Cette vapeur se condense rapidement

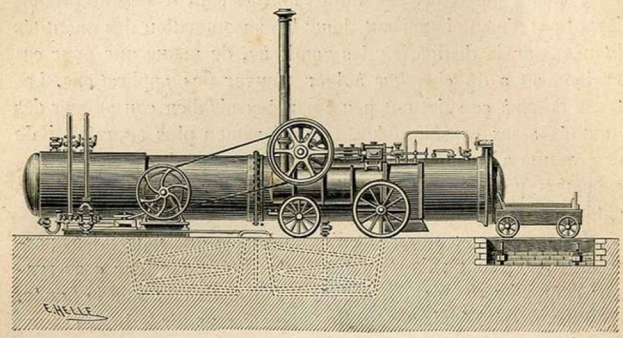

Fig. 99. — Imprégnation des bois.

et produit un vide qui est achevé par une pompe aspirante et foulante actionnée par la locomobile ; on provoque ainsi le dégagement des gaz du bois et de l'humidité qu'il contient. Le vide effectué, on procède à l'injection en introduisant l'huile lourde qui pénètre rapidement dans les pores du bois, et l'on achève l'opération par une compression à 12 atmosphères au moyen de la pompe ; quand les bois ont été ainsi maintenus sous pression dans le liquide antiseptique, on procède à la vidange de l'appareil, à l'extraction du bois, et l'opération peut être recommencée. Ce produit est surtout excellent pour l'imprégnation des traverses de chemin de fer.

Emploi comme combustible. — Nous avons vu que dans les usines à gaz on employait des goudrons bruts comme combustible ;

on a également employé les huiles lourdes pour cet usage et dans les mêmes appareils. Des essais ont été faits également pour le chauffage des chaudières de bateaux et de locomotives et aujourd'hui, dans les pays producteurs de pétrole, on utilise très avantageusement pour cet objet les huiles lourdes de pétrole.

M. Sainte-Claire Deville fit sur une locomotive du chemin de fer de l'Est des essais de chauffage très intéressants en employant une grille inventée par M. Audouin; les résultats obtenus ont été fort curieux au point de vue de l'utilisation des goudrons.

Le kilogramme d'huiles lourdes (provenant de la compagnie Parisienne) produisait $13^{kil},770$ de vapeur.

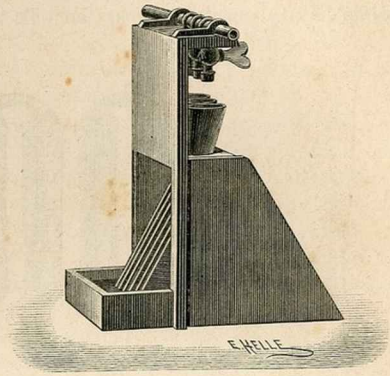

Fig. 99. — Brûleur à huiles lourdes de M. Sainte-Claire Deville.

M. Sainte Claire Deville eut également l'idée d'appliquer les huiles lourdes au chauffage de petits fours de laboratoire au moyen d'une grille spéciale (fig. 99). L'huile lourde arrive par un tuyau sur lequel sont fixés des robinets qui la laissent couler en mince filet par des entonnoirs en tôle; elle descend de là le long de rainures pratiquées sur les barreaux inclinés; les barreaux étant chauds, l'huile se vaporise et s'enflamme, la combustion est alimentée par l'air qui passe entre les barreaux.

On a également réalisé avec succès la combustion des huiles lourdes en les lançant dans le foyer sous forme de poussière liquide au moyen d'un pulvérisateur; tel est le système Agnelet.

La production du noir de fumée au moyen des huiles lourdes consomme une grande quantité de celles-ci. Le noir de fumée sert pour la fabrication des encres d'imprimerie, de l'encre de Chine, pour l'impression des tissus, pour la fabrication des cirages, etc. Pour l'obtenir on brûle les huiles lourdes en ménageant l'accès de l'air. Il se produit une fumée noire que l'on fait circuler dans des chambres d'une forme variable garnies de toiles ou même simplement dans des manches en toile sur lesquelles le noir de

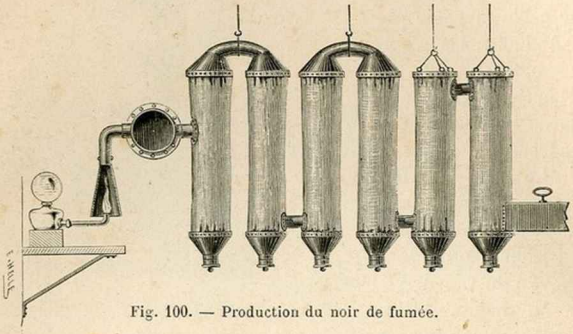

Fig. 100. — Production du noir de fumée.

fumée se dépose. On secoue ces toiles lorsqu'elles sont couvertes d'une couche assez épaisse.

La figure 100 qui n'a pas besoin d'explications représente un des dispositifs employés.

Le noir le plus pur est celui que l'on recueille aux points les plus éloignés du foyer.

D'après Lunge, 100 kilogrammes d'huile lourde fournissent 5 kilogrammes de noir fin, 6 kilogrammes de noir moyen, et 5 kilogrammes de noir commun.

Lorsqu'on les emploie pour le graissage, les huiles lourdes sont traitées à la chaux et mélangées avec des huiles de résine et diverses substances pulvérulentes pour leur donner de la consistance.

Aujourd'hui les huiles lourdes sont travaillées en grand pour l'extraction du phénol ou acide phénique et de la naphtaline.

Les huiles distillant de 170 à 230° sont mélangées avec une lessive de soude caustique saturée à chaud; on ajoute de la soude en poudre et l'on agite vivement au moyen d'un agitateur; la chaudière où se fait la saturation est chauffée à la vapeur à température de 40° ou 50°. L'huile se prend aussitôt en une bouillie cristalline. On décante la partie liquide, et la partie solide est dissoute avec de l'eau chaude. Il se forme alors deux couches; l'une légère et huileuse que l'on enlève, et une plus lourde que l'on sépare et que l'on traite par l'acide sulfurique[1], dans une chaudière doublée de plomb. Le phénate de soude en solution est décomposé, et le phénol vient former à la surface une couche huileuse. On laisse reposer, on soutire, on mélange le phénol avec du chlorure de calcium fondu qui le déshydrate, puis on le soumet à la distillation dans des cornues en fonte chauffées à la vapeur surchauffée ou au bain d'huile. Les produits de la distillation sont divisés en trois parties. Ce qui passe au-dessous de 180° est mis à part pour être distillé à nouveau. De 180° à 305°, c'est l'acide phénique que l'on enlève pour la cristallisation. Le résidu est réuni à l'huile lourde à retraiter. La partie passant entre 180° et 305° est mise à cristalliser à une température de 6° à 8°; l'eau mère en est ensuite séparée par égouttage ou dans une essoreuse.

Girard dans son traité des *Dérivés de la houille* recommande l'appareil représenté figure 101, pour les séparations du benzol et du toluène; il peut très avantageusement être employé pour la purification du phénol.

Il se compose d'une chaudière A avec tuyau de vidange *a* fermée par un autoclave B et contenant un thermomètre C pour suivre la température de distillation. Le tube de dégagement D conduit les vapeurs dans un séparateur E contenu dans une bâche remplie d'huile ou de paraffine, et qui peut être chauffée par un

1. On peut également décomposer ce phénate de soude au moyen d'acide carbonique.

foyer spécial. Les vapeurs des produits moins volatils que le phénol se condensent dans le séparateur, et retournent à la chaudière, tandis que le phénol pur se condense en F. Quelquefois la bâche

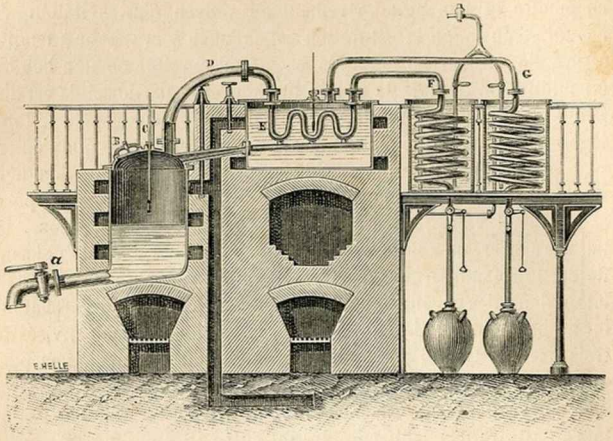

Fig. 101. — Purification du phénol.

du séparateur contient du phénol dont les vapeurs vont se condenser en G.

Cet appareil permet de séparer très facilement le phénol pur des crésols, de l'eau, de la naphtaline, etc.

Le phénol est employé comme antiseptique et pour la fabrication de l'acide picrique, de la coralline, etc. Il entre dans la préparation d'un certain nombre de produits pharmaceutiques en raison de ses propriétés désinfectantes.

Si, après extraction du phénol, on laisse simplement refroidir complètement l'huile lourde brute, il se dépose de la naphtaline cristallisée que l'on peut dissoudre dans des huiles légères et faire

recristalliser pour arriver à la purifier, après un pressage qui en élimine mécaniquement les parties liquides.

Pour en terminer la purification, on fait sublimer la naphtaline, soit comme l'indique Wurtz, en la chauffant dans une chaudière en fonte surmontée d'un tonneau dans lequel elle se dépose (fig. 102), soit dans une cuve spéciale chauffée à la vapeur et couverte avec une hotte correspondant à une chambre de condensation.

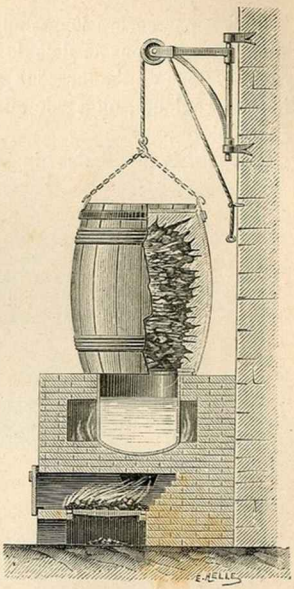

Fig. 102.
Sublimation de la naphtaline.

La naphtaline qui représente de 5 à 10 pour 100 du poids des goudrons est restée longtemps sans emploi ; aujourd'hui elle sert de point de départ pour la préparation d'une série de superbes matières colorantes.

Elle est également employée pour augmenter le pouvoir éclairant du gaz dans le système dit Albo-Carbone. L'appareil que chacun a pu voir est disposé de telle sorte que la flamme échauffe par conductibilité la naphtaline contenue dans une sphère creuse et la vaporise ; le gaz qui traverse cette sphère entraîne avec lui une certaine quantité de ces vapeurs qui viennent brûler au bec en même temps que lui, et qui augmentent de 30 à 40 pour 100 son pouvoir éclairant.

Le Brai.

Il n'y a pas encore longtemps, on ne poussait jamais la distillation des goudrons au delà de 370° ; mais depuis la découverte des applications de l'anthracène et de ses dérivés, pour la fabrication des couleurs, on a soin au contraire de la mener aussi loin que possible.

On opère la distillation du brai soit dans les cornues à gou-

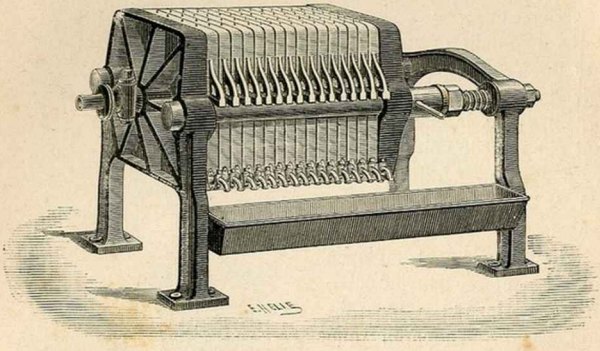

Fig. 103. — Filtre-presse Séraphin.

dron, soit de préférence dans des cornues formées de cuves horizontales en fonte.

On obtient d'après Lunge, pour 100.

Huile à anthracène	27 à 30 pour 100.
Huile contenant du chrysène et du pyrène . .	
Résine jaune rouge sublimée	
Coke.	48 à 52 —
Gaz vapeur d'eau, huile légère	25 à 28 —

L'huile à anthracène contient surtout des corps à point de fusion élevé, de sorte que les produits refroidis de la distillation forment une masse solide de consistance un peu moins épaisse que le beurre.

Le traitement de l'huile brute pour en séparer l'anthracène consiste à la soumettre à une pression pour séparer les hydrocarbures liquides, qui retournent aux traitements précédents des huiles lourdes. Cette pression a lieu au moyen de presses hydrauliques, ou mieux, de filtres-presses; la figure 103 est un des modèles les plus recommandables. L'anthracène brut est placé dans des sacs posés entre les plateaux, et on l'expose à une pression graduelle, en ayant soin d'élever en même temps la température des plateaux par injection de vapeur, ou au moyen de plaques chauffées. Après la pression, l'anthracène qui reste dans ces sacs est lavée avec du naphte ou de l'éther de pétrole, puis séchée. On termine souvent la purification par une sublimation opérée au moyen de vapeur d'eau surchauffée.

La grande valeur acquise aujourd'hui par l'anthracène provient de la découverte de l'alizarine artificielle faite en 1868 par Grabe et Liebermann.

Les emplois du brai ont été plusieurs fois énumérés; nous n'avons donc pas à y revenir. Mais en terminant nous avons à faire remarquer combien ce produit, encombrant il y a peu d'années, est devenu rapidement la matière première de produits artificiels importants, et combien ce dernier dérivé de la houille dont nous n'avons fait qu'entrevoir les éléments les plus essentiels a pu produire de richesses. Cette transformation industrielle est due au travail assidu, aux recherches et aux découvertes de nombreux chimistes parmi lesquels les français brillent au premier rang.

APPENDICE

NOTE I

Lampe de sûreté.

La lampe de sûreté imaginée par M. Combes (fig. 104) présente les principaux perfectionnements apportés par les différents constructeurs de ce genre de lampes.

Au-dessus du réservoir qui contient l'huile se trouve un anneau soutenu à une certaine distance du réservoir par quatre petites colonnes ; une double toile métallique, au centre de laquelle passe la mèche de la lampe, s'appuie sur un rebord intérieur qui porte cet anneau. Un dôme percé en son milieu, dirige vers la mèche l'air qui a traversé la toile métallique.

A l'anneau se visse une virole qui soutient un cylindre en verre dont les parois sont très épaisses et dont la partie supérieure est entourée par l'anneau qui vient s'appuyer et se serrer dessus au moyen des tiges métalliques. Sur cet anneau est fixé un cylindre en toile métallique fermé au-dessus et à travers les mailles duquel s'échappent les produits de la combustion ; une cheminée en tôle intérieure active le tirage. Une tige terminée par un crochet qui traverse la mèche et qui communique avec l'extérieur par un tube à frottement terminé sous la lampe, permet d'élever ou d'abaisser la mèche sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir la lampe.

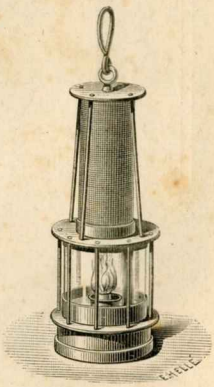

Fig. 104. — Lampe de Davy, modifiée par M. Combes.

Généralement ces lampes sont munies d'un système de fermeture qui ne permet pas aux mineurs de l'ouvrir ; un ouvrier spécial chargé de toute la lampisterie située en dehors des galeries peut seul le faire.

NOTE II

Manomètre Rouget.

L'appréciation exacte de la pression du gaz a souvent une grande importance surtout dans la marche avec extracteurs. Dans ce cas, la pression devrait théoriquement être égale à zéro, et en tous cas, il convient de ne pas la laisser s'élever de manière à surcharger les cornues ; mais en même temps de ne pas la laisser descendre de manière à aspirer les gaz du foyer à travers les cornues. Les moindres variations de pressions sont donc un contrôle de la marche des extracteurs et un bon manomètre est fort utile. Le manomètre de M. Rouget (fig. 105) est avantageux, surtout dans ce cas. En effet, la lecture de la pression y est très exacte grâce à l'emploi du flotteur Erdman. Le niveau est maintenu constant dans un réservoir à flotteur du genre du flotteur de manomètre Elster. Il n'y a qu'une seule lecture à faire au lieu de la comparaison de deux colonnes de liquide. Le gaz communique avec le manomètre par le robinet supérieur D'.

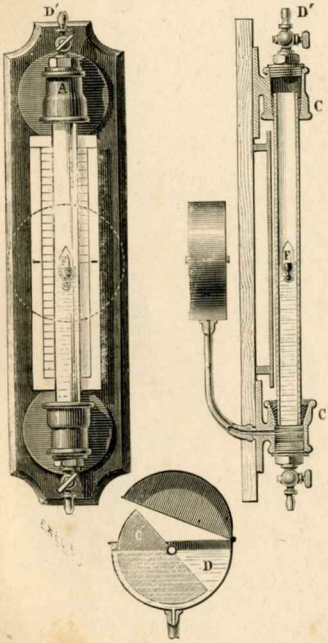

Fig. 105. — Manomètre Rouget.

Les tubes cassés se remplacent très facilement en dévissant les deux fonds et, comme ils sont maintenus par des bagues en caoutchouc C C' qui laissent le verre se dilater, cet accident arrive rarement.

La figure jointe à cette description suffira pour l'intelligence des autres détails de cet appareil.

NOTE III

Gaz d'éclairage extraits de substances autres que la houille.

Nous avons essayé de donner une idée des nombreuses applications de la houille et de ses dérivés, et bien que nous n'ayons pu que passer rapidement en revue les diverses parties de notre sujet, nous croyons cependant intéressant d'ajouter cette note comme terme de comparaison avec le gaz de houille.

La houille est la matière première par excellence pour la fabrication du gaz et la production du goudron. Mais dans certains cas, on peut avoir intérêt à fabriquer du gaz avec d'autres substances qui, décomposées comme le charbon, sont susceptibles d'en produire.

En effet presque toutes les matières végétales ou animales soumises à la distillation, dans les mêmes conditions que la houille, fournissent du gaz plus ou moins éclairant, des goudrons et des produits ammoniacaux. Nous ne pouvons songer à parler en détail des diverses matières utilisables pour cette fabrication. Nous nous contenterons plutôt d'en faire une énumération.

On a employé : le bois, la tourbe, la résine, le suif, les huiles de poisson, les huiles lourdes de houille et de pétrole, les huiles végétales, les résidus de cuir, les tourteaux d'olive, et même l'eau.

Gaz de bois. — Nous avons vu que la matière première que Lebon avait en vue tout d'abord pour la fabrication du gaz était le bois. En effet, on obtient par la distillation du bois un gaz plus éclairant qu'avec la houille, le résidu est du charbon de bois dont la valeur marchande est assez grande, le goudron de bois a une valeur supérieure à celui de la houille et enfin on retire des eaux condensées une certaine quantité d'acide pyroligneux et d'alcool méthylique.

Les inconvénients sont : la grande quantité d'acide carbonique produit (acide carbonique dont la séparation par la chaux est très coûteuse, l'épuration par l'oxyde de fer étant inutile) et le prix d'achat du bois qui est en général trop élevé pour que cette fabrication puisse lutter avec celle du gaz de houille.

La distillation doit avoir lieu à une température au moins aussi élevée que pour la houille et dans des cornues de grandes dimensions afin d'obtenir une décomposition partielle du goudron.

Les différentes essences de bois rendent à peu près la même quantité de gaz, on a obtenu de 100 kilogrammes de

	Mètres cubes de gaz.	Kilog. de charbon.
Sapin.	38,5	18
Pin.	34	18
Chêne.	34	20

	Mètres cubes de gaz.	Kilogr. de charbon.
	—	—
Hêtre	33	20
Bouleau	35	19
Mélèze	33	22
Tilleul	37 à 40	18 à 22
Saule	39	18
Peuplier	35,44	19,80

D'après Pettenkofer qui avait installé la fabrication du gaz de bois à Munich, le gaz obtenu avec le sapin contiendrait :

Hydrocarbures lourds	6,91
Gaz des marais	11,06
Hydrogène	15,07
Acide carbonique	25,72
Oxyde de carbone	40,59

et, d'après Reissig, le gaz au bois *épuré* aurait pour composition

Hydrocarbures lourds	7,86
Hydrogène	34.97
Gaz des marais	25,36
Oxyde de carbone	31,81
	100,00

Plusieurs tentatives de fabrication de gaz au bois ont été faites; mais toutes les fois que la houille a pu être obtenue à un prix suffisant, elle a remplacé le bois comme matière première.

Gaz de tourbe. — La tourbe fournit comme la houille du gaz, du goudron, du coke et des produits ammoniacaux, mais cette fabrication ne peut-être qu'exceptionnelle en raison du manque de tourbe en état d'être distillée; car bien que la tourbe soit extrêmement repandue, elle n'est pas suffisamment exploitée pour servir de matière première à une fabrication régulière de gaz d'éclairage. Pour extraire de la tourbe un gaz de bonne qualité, il est préférable de mélanger les gaz obtenus directement par sa décomposition avec ceux que l'on retire de la distillation de son goudron.

La tourbe doit être distillée rapidement et elle ne doit être soumise à la distillation qu'après dessiccation aussi complète que possible.

D'après des analyses de M. de Marcilly, les tourbes de bonne qualité extraites en Picardie donneraient

Acide carbonique	14
Azote, oxygène	5
Hydrogènes proto et bi-carbonés	11
Hydrogène pur	40
Oxyde de carbone	30
	100

Les gaz obtenus sont peu éclairants tandis que les goudrons qui contiennent

Huiles à benzine	11
— basique neutre	28
— à paraffine	42
Eau ammoniacale	3
Brai sec	12
Perte	4

sont susceptibles de produire par leur décomposition des gaz très éclairants.

Le rendement en goudron est de 6 à 7 kilogrammes pour 100.

Ce goudron traité comme les goudrons de houille rend :

Benzine	6
Huile à brûler	10
Huiles lourdes	18
Acide phénique créosoté	10
Paraffine	6
Charbon graphiteux	4
Brai sec	8

Gaz d'huiles végétales. — Les huiles végétales sont à un prix trop élevé pour fournir du gaz industriellement, cependant certaines conditions particulières peuvent engager à employer ces matières qui fournissent par la distillation un gaz de très bonne qualité, éclairant environ trois fois autant que le gaz de houille et en grande quantité. Un kilogramme d'huile de colza donne 800 litres de gaz éclairant autant que 2800 litres de gaz de houille.

La distillation s'opère dans des cornues verticales contenant du coke, des morceaux de briques ou mieux une lame de fonte ayant la forme d'une spirale; l'huile arrive en haut de la cornue (chauffée au rouge, en mince filet et se décompose immédiatement.

Fig. 106. — Appareil pour la production du gaz d'huiles végétales.

L'épuration au moyen de la chaux et d'un simple lavage est suffisante. Bien que cette fabrication ne puisse être qu'exceptionnelle nous donnons (fig. 106) le dessin d'un petit appareil qui peut être employé avantageusement et qui nous a donné de bons résultats.

Gaz du suint. — Le suint qui provient du lavage des laines fournit à la distillation un gaz excellent trois fois aussi éclairant que le gaz de houille. D'après Wagner, une filature de 20 000 broches fournit par jour 500 kilogrammes de suint sec, chaque kilogramme de cette matière donne 210 litres de gaz qui brûle à raison de 35 litres pour fournir la lumiere d'une carcel.

Gaz d'huile de schiste. — L'huile de schiste produit environ par 100 kilogrammes, 70 mètres cubes de gaz dont le pouvoir éclairant est égal à environ deux fois et demie celui du gaz de houille.

Gaz de pétrole. — L'huile de pétrole brute se décompose comme les

huiles végétales. On emploie de préférence des cornues horizontales en fonte, dans lesquelles le pétrole brut ou mieux les huiles résidus de raffinage de pétrole arrivent en filet régulier. Le rendement en gaz varie de 50 à 100 mètres cubes par 100 kilogrammes.

Hirzel, Riedinger, Hubner, ont beaucoup répandu en Allemagne la fabrication de ce gaz que nous voyons employer chez nous pour l'éclairage des wagons de chemin de fer (il est emmagasiné comme du gaz portatif dans des cylindres portés par les voitures).

Gaz de résine. — La résine fournit par 100 kilogrammes 75 mètres cubes de gaz, d'un pouvoir éclairant égal à celui de la houille. On la distille (après l'avoir préalablement fondue par la chaleur perdue du four) en la laissant tomber goutte à goutte dans des cornues pleines de coke.

Gaz à l'eau. — L'eau se compose d'hydrogène et d'oxygène dans la proportion du poids de 888 grammes d'hydrogène et 112 grammes d'oxygène ou en volume 1 litre d'eau donne 618 litres d'oxygène et 1236 litres d'hydrogène. Si on décompose l'eau et que l'on fasse entrer l'oxygène en combinaison, l'hydrogène seul se dégage. Chacun connaît la décomposition de l'eau effectuée dans les laboratoires, par l'acide sulfurique et le zinc pour obtenir de l'hydrogène

$$Zn + SO^3HO = ZnOSO^3 + H.$$

mais ce moyen trop coûteux n'est guère applicable industriellement pour obtenir de l'hydrogène pour éclairage.

En pratique on fait passer de la vapeur d'eau sur du fer ou du charbon porté au rouge; avec du fer on obtient 538 litres d'hydrogène par kilogramme de fer qui se transforme en sesquioxyde; avec du charbon on obtient de l'hydrogène et un mélange d'acide carbonique et d'oxyde de carbone, le premier est absorbé par de la chaux, le second reste dans le gaz.

L'hydrogène n'étant pas éclairant par lui-même, on a essayé plusieurs moyens de l'utiliser soit par la carburation en lui faisant entraîner des vapeurs de benzine ou analogues, soit en le faisant passer à travers des vapeurs d'hydrocarbures produites en décomposant au rouge des pétroles ou des schistes, soit enfin en le faisant brûler dans des becs supportant une toile de platine qui portée au rouge blanc donnait la lumière désirée.

Gaz d'air. — Enfin on emploie quelquefois comme gaz d'éclairage et de chauffage de l'air chargé de vapeurs d'essences légères de pétrole.

Nous n'insisterons pas davantage sur cette question des divers gaz qui n'ont du reste pu jusqu'ici avoir d'application générale; nous avons simplement voulu faire une énumération explicative.

BIBLIOGRAPHIE

Houille, coke, agglomérés.

1. Aguillon. — Note sur la rupture des câbles de mine. — Dunod; in-8°.
2. Aguillon et Pernolet. — Exploitation et réglementation des mines à grisou. — Dunod; 3 vol. in-8°.
3. Amiot. — Exploitation des couches puissantes de houille. — Dunod; in-8° avec planches.
4. Annuaire des charbonnages, par les rédacteurs du journal *le Charbon*. — Baudry; in-8°.
5. Baralle (Alph. de). — Statuts des Compagnies houillères du Nord et du Pas-de-Calais. — Lacroix; in-8°.
6. Barlet. — Tenue des livres appliquée à la comptabilité des mines de houille. — Baudry; in-8°.
7. Barré. — Note sur la fabrication du coke. — Dunod; in-8° et planches.
8. Baudin. — Description des bassins houillers de Brassac. — Bernard-Tignol, atlas de 24 planches.
9. Berg. — Agglomération de la houille par le lichen d'Islande. — *Zeitschrift für Berghütten und Salinenwesen*, 1880, et *Chemische Industrie*, 1880.
10. Blavier. — Jurisprudence des mines. — Dunod; 3 vol. in-8°.
11. Bosc. — Traité complet de la tourbe. — Baudry, 1870; in-8°.
12. Briart et Weiler. — Du transport mécanique de la houille. — Baudry; in-8°, planches.
13. Bulletin de l'industrie minérale. — Fabrication des agglomérés. — T. XII; 1883.
14. Burat. — Société des houillères de Blanzy. — Baudry; in-4°, 20 planches.
15. Burat. — Les houillères de la France et de l'étranger. — Baudry; gr. in-8° et atlas in-4° de 25 planches.
16. Burat. — Les houillères en 1866.
Les houillères en 1868.
Les houillères en 1869. — Bernard-Tignol; in-8°, atlas.
17. Burat. — Le matériel des houillères en France et en Belgique. — Baudry; 1 vol. gr. in-8° et atlas.
18. Burat. — Les houillères à l'Expositition universelle de 1878. — Quenet; in-4° et 23 planches.
19. Burat. — Épuration de la houille. — Baudry; in-4°.

20. Callon. — Cours d'exploitation des mines. — Dunod; 2 vol. in-8° et atlas.
21. Carnot. — Tableau des essais de combustibles minéraux. — Dunod; gr. in-8°.
22. Challeton de Brughat. — De la tourbe. Étude sur les combustibles employés dans l'industrie; étude sur le coke. — Michelet; in-8°.
23. Chancourtois (de). — Carte géologique détaillée de la France. — Dunod.
24. Chevremont. — Notice sur plusieurs perfectionnements faits à la lampe de sir Humphry Davy. — Dunod; in-8°.
25. Chosson. — Situation de l'industrie des schistes bitumineux du bassin d'Autun. — Dunod; in-8°.
26. Demanet. — Gisement, extraction et exploitation des mines de houille. — Baudry; in-12.
27. Dieudonné. — Mémoire sur la fabrication du coke à Forbach et à Hirschbach. — Dunod; in-8° et planches.
28. Dormoy. — Topographie souterraine des bassins houillers de Valenciennes. — Bernard-Tignol; atlas in-f°.
29. Drouot. — Notice sur les gîtes de houille de Saône-et-Loire. — Bernard-Tignol; in-4°.
30. Dupont. — Cours de législation des mines. — Dunod; gr. in-8°.
31. Du Souich. — Rapport sur la réglementation de l'exploitation dans les mines à grisou. — Dunod; in-8°.
32. Du Souich. — Essai sur les recherches de houille dans le nord de la France. — Dunod; in-8°, planches.
33. Estaunié. — Des diverses variétés de la houille du département de Saône-et-Loire. — Dunod; in-8°, tableaux.
34. Fayol. — Étude sur l'altération par la combustion spontanée de la houille exposée à l'air. — Dunod; in-8° et planches.
35. Fischer (F.). — Fabrication des agglomérés.
36. Fourquoy. — Fabrication des agglomérés.
37. Grand'Eury. — Flore carbonifère du bassin de la Loire et du centre de la France. — Baudry; 2 vol. in-4° et atlas de 34 planches.
38. Gruner. — Étude des bassins houillers de la Creuse. — Bernard-Tignol; in-4° et atlas in-f°.
39. Gurtl. — Fabrication des agglomérés. Steinkohlen-briquettes.
40. Havrez. — Perfectionnements introduits dans l'exploitation de la houille en Angleterre. — Bernard-Tignol; in-8°, planches.
41. Jacques. — Étude sur la houille du bassin de Liège; houille grasse. — Baudry; in-8°.
42. Lacretelle. — Note sur l'estimation des houillères. — Dunod; in-8°.
43. Le Chatelier. — Notice sur les sondages à la corde. — Dunod; in-8°, planches.
44. Malherbe. — De l'exploitation de la houille dans le pays de Liège. — Baudry; in 8°.
45. Malherbe. — Du grisou. — Baudry; in-8°.
46. Péchard. — La houille et le fer dans tous les pays du monde. — Dunod; in-8°.
47. Virlet. — Mémoire sur un nouveau procédé de carbonisation dans les usines, à l'aide de la chaleur perdue des hauts-fourneaux et foyers de forge. — Dunod; in-8°, 3 planches.
48. Voisin. — L'aérage dans les mines de houille de la Westphalie. — Dunod; in-8°, 1 planche.
49. Vuillemin. — Le droit de douane sur les houilles. — Dunod; in-8°.
50. Vuillemin. — Le bassin houiller du Pas-de-Calais. — Dunod; in-8° avec tableaux et 21 planches.

51. Vuillemin. — Les mines de houille d'Aniche. — Dunod; in-8° et atlas.
52. Warington. — La houille et les houillères en Angleterre. — Dunod; in-8° avec vignettes et planches.

Chauffage.

1. Bède. — De l'économie du combustible. — Baudry; in-4°.
2. Belleroche (E.). — Chauffage complet des trains de voyageurs sur les chemins de fer. — Baudry; gr. in-8°, 8 pl.
3. Beretta et Desnos. — Les nouvelles chaudières à vapeur. — Baudry; in-8°, atlas in-fol. de 30 pl.
4. Bosc (E.). — Traité du chauffage et de la ventilation. — Morel et Cie, in-8°.
5. Boudin. — Nouvelles études sur le chauffage. — Baillière; in-8°.
6. Briot (Ch.). — Exposé des principes de la théorie mécanique de la chaleur et de ses applications. — Gauthier-Villars; in-8°.
7. Cazin. — La chaleur; Hachette; 1873.
8. Clausius (R.). — Traduction Folie (F.). Théorie mécanique de la chaleur. — Michelet; 2 vol. in-8°.
9. Combes. — Exposé des principes de la théorie mécanique de la chaleur. — Dunod; gr. in-8°.
10. Courtin. — La chaleur et ses applications aux machines à air chaud. — Baudry; in-8°, figures.
11. Darcet. — Description des appareils de chauffage. — Dunod; in-8°, planches.
12. Deny (E.). — Étude sur le chauffage. — Quenet; in-8° broché.
13. Derschau. — Étude sur le chauffage et la ventilation des wagons de voyageurs. — Bernard-Tignol; in-8° broché.
14. Devillez (A.). — Traité élémentaire de la chaleur, au point de vue de son emploi comme force motrice. — Baudry; in-8°, avec 12 planches.
15. Dupré (Ath.). — Théorie mécanique de la chaleur. — Gauthier-Villars, in-8°.
16. Ebelmen. — Les combustibles — article du *Dictionnaire des arts et manufactures*, de Laboulaye.
17. Ferrini (trad. Archinard). — Technologie de la chaleur. Chauffage et ventilation des bâtiments. — Dunod; gr. in 8°, grav. et planches.
18. Flamm (P.). — Guide pratique du constructeur d'appareils économiques de chauffage. — Lacroix; 1 vol, 4 planches.
19. Franklin (B.). — Description des nouveaux chauffoirs de Pensylvanie. — Br. in-8°.
20. Gauger (Nicolas). — Mécanique du feu ou l'art d'en augmenter les effets et d'en diminuer la dépense. — Paris; 1713, in-12.
21. Gouilly (Al.). — Théorie mécanique de la chaleur. — Quenet, in-8°.
22. Gouyet (A.). — Guide manuel du chauffeur. — Baudry; gr. in-8°.
23. Hébrard (Pierre). — Caminologie ou Traité des cheminées. — Desventes, à Dijon; in-12, 1756.
24. Hirn (G.). — Théorie mécanique de la chaleur. — Gauthier-Villars, 3 vol. grand in-8°.
25. Jacquier (Edme). — Exposition élémentaire de la théorie mécanique de la chaleur appliquée aux machines. — Gauthier-Villars; in-8°.
26. Jaunez. — Manuel du chauffeur. — Lacroix; 37 fig. et planches.
27. Joly. — Traité pratique du chauffage et de la ventilation. — Baudry; gr. in-8°, 375 figures.
28. Lamé (G.). — Leçons sur la théorie analytique de la chaleur. — Gauthier-Villars, in-8°.

29. Lencauchez. — Étude sur les combustibles. — Lacroix; 1878, 1 vol. et atlas.
30. Leutmann (G.). — Vulcanus famulans. — Got-Zimmermann; Wittemberg, 1720, in-12.
31. Massieu (F.). — Exposé des principes fondamentaux de la théorie mécanique de la chaleur. — Gauthier-Villars; in-4°, lithographies.
32. Morin (Général). — Chauffage et ventilation.
Rapports faits au Comité consultatif d'hygiène. — Baudry.
33. Morin (général). — Manuel pratique de chauffage et de ventilation. — Bernard Tignol; in-8°.
34. Péclet. — Traité de la chaleur considérée dans ses applications. — 3 vol. grand in-8°, 702 figures.
35. Pérard. — Traité du chauffage et de la conduite des machines à vapeur. — Baudry; gr. in-8°, 15 planches.
36. Pictet (Raoul). — Synthèse de la chaleur. — Gauthier-Villars; in-8°, 1 planche.
37. Planat. — Chauffage et ventilation des lieux habités. — Baudry; in-8°, 330 grav.
38. Plaudt, — Chauffage et ventilation des lieux habités, cheminées, etc. — Quenet; in-8°.
39. Poillon. — Cours théorique et pratique des chaudières et des machines à vapeur. Baudry; in-8°.
40. Poisson. — Théorie mathématique de la chaleur. — Gauthier-Villars; in-4°, planches.
41. Reech. — Théorie générale des effets dynamiques de la chaleur. — Gauthier-Villars; in-4°, planches.
42. Regray. — Le chauffage des voitures de toutes classes sur les chemins de fer. — Dunod; gr. in-8°, atlas de 31 planches.
43. Résal. — Commentaire aux travaux publics sur la chaleur. — Dunod; in-8° et planches.
44. Robertson (W.). — Collection of various forms of stoves. — London; in-4°, 1798.
45. Rumford (le comte de). — Mémoires sur la chaleur. — Gauthier-Villars; in-8°.
46. Tomlinson. — Warming and ventilation.
47. Tredgold (Th.). — The principles of warming and ventilating buildings. — London; in-8°, 1825-1836.
48. Troost. — Le feu. Revue des cours scientifiques, — deux années, 1864-65.
49. Tyndall (John). — La chaleur considérée comme un mode de mouvement. — Michel; in-8° jésus.
50. Du Val. — Le foyer de campagne et de cabinet. — Estienne Michallet; in-12, 1785.
51. Valérius (H.). — Les applications de la chaleur, avec un exposé des meilleurs systèmes de chauffage et ventilation. — Gauthier-Villars; gr. in-8°.
52. Verdet. — Exposé de la théorie mécanique de la chaleur. — Bernard-Tignol, in-8°.
53. Vernois (Max) et Grassi. — Mémoire sur les appareils de ventilation et de chauffage. — Baillière; in-8°.
54. Zeuner. — Théorie mécanique de la chaleur, avec ses applications aux machines. — Michelet; in-8°.

Industrie du gaz.

1. Accum. — Practical treatise on gas light. — London; 1815.
2. Armengaud (jeune). — Conférence sur les moteurs à gaz.

P. Audouin et P. Bérard. — Étude sur les divers becs employés pour l'éclairage au gaz, et recherche des conditions les meilleures pour la combustion.
4. Audouin. — Application des hydrocarbures liquides à l'obtention des hautes températures.
5. Arson. — Expériences sur l'écoulement des gaz en longues conduites. — In-8°; Paris, Lacroix, 1867.
6. Banister (H.). — Gas manipulation with a description of the various instruments and apparatus employed in the analysis of coal and coal gaz. — Londres, Henri-Sugg, 1867.
7. Barrault (E.) et Piquet. — Mémoire sur le gaz à l'eau obtenu par le procédé Gillard. — In-8°; Paris. 1856.
8. Beaufumé (E.). — Chauffage par le gaz. — In-8°; Paris, 1857.
9. Berthault-Ducreux. — Note sur les principes et les procédés fondamentaux de l'éclairage au gaz. — In-8°; Paris, 1854.
10. Blachette (L.-J.). — Du gaz hydrogène carboné. — 1824.
11. Bois (V.). — Compagnie générale des compteurs à gaz. Opinions et rapport sur les avantages de l'indicateur Dumon. — In-8°; Paris, Dupont, 1856.
12. Boudin (J.-Ch.). — Recherches sur l'éclairage. — Paris, J.-B. Baillière, 1851.
13. Bouis (J.). — Empoisonnement par le gaz. — Paris, Mallet-Bachelier, 1859.
14. Boury (E.). — Four à feu continu au gaz de Schwandorff. — In-8°; Paris, E. Bénard et Cie, 1884.
15. Bowditch. — Analysis technical valuation, purification and use of coal gas. — Londres, 1867.
16. Bowditch. — Coal gas.
17. Bower (G.). — The gas engineer's book of reference. — Londres, 1865.
18. Briquet. — De l'éclairage artificiel. — Thèse, in-4°; 1837.
19. Brunfaut et Cie. — Notice sur la fabrication du coke. Moyen de recueillir les sous-produits de la carbonisation de la houille, tels que gaz, goudron, sels ammoniacaux perdus, jusqu'à ce jour, avec l'emploi des anciens fours qui pratiquent le coke. — In-8°; Paris, 1856.
20. Brunt et Cie. — Album de la Compagnie continentale.
21. Cabrol. — Notice sur l'application de l'appareil à gaz carburé. — 1837.
22. Carlevaris (P.). — La luce ossi-idro-magnesiaca et le sue applicazioni. — Florence, Turin, Milan, 1868.
23. Cassian-Bon. — L'industrie gazière en Italie. — Rome, Artero et Ce, 1876.
24. Challeton de Brughat. — De la tourbe. Étude sur les combustibles employés dans l'industrie. — In-8°; Paris, 1861.
25. Chancel (G.) et Diacon. — Sur le chauffage au gaz dans les laboratoires de chimie. — In-8°, avec planche; Paris, 1861.
26. Chandler (C.-F.). — Report on the gas nuisance in New-York. — New-York, D. Appleton et Ce, 1870.
27. Chatel (A.) jeune. — Notice sur les différents systèmes d'éclairage, depuis les temps anciens jusqu'à nos jours. — In-8°; Paris, 1859.
28. Clegg (S.). — Practical treatise on gas lighting. — 1 vol. in-4°, avec planches; Londres, 1841. 2e édit. en 1851, 3e édit. en 1859, 4e édit en 1866.
29. Clegg (S.), traduit par Servier. — Traité pratique de la fabrication et de la distillation du gaz d'éclairage et de chauffage. — 1 vol. in-4°, avec planches; Paris, Lacroix, 1866.
30. De Clerq (G.-H.). — Note sur l'éclairage au gaz des trains de chemins de fer, d'après le système Cambrelin. — In-8°; Bruxelles, B.-J. van Dooren, 1867.
31. Coglievina (D.). — De l'éclairage au gaz.

32. Colburn (Zerah-). — The gas works of London. — In-8°; Londres, E. et F.-N. Spon, 1865.
33. Combes (Hipp.). — De l'éclairage au gaz, étudié au point de vue économique et administratif, et spécialement de son action sur le corps de l'homme. — Paris, Mathias, 1845.
34. Compagnie Parisienne. — Le chauffage au gaz et au coke. — In-8°; Paris, Viesener, 1862.
35. Compagnie Parisienne. — Note relative aux divers produits et aux ouvrages exposés à Vienne par la Compagnie. — In-4°: Paris, veuve Éthiou-Pérou, 1873.
36. Compagnie Parisienne. — Note sur les divers produits et appareils exposés en 1878. — Paris, veuve Éthiou-Pérou, 1878.
37. Cormier. — Gaz à l'eau. — Br. in-4°; Paris, 1854.
38. Cormier. — Gaz à l'eau. Réponse à une lettre insérée dans le *Journal de l'éclairage au gaz*. — Br. in-8°; le Havre, 1855.
39. Coudurier. — Manuel pratique des directeurs d'usines à gaz. — In-8°; Paris, Dunod, 1883.
40. Coze. — Calcul des pertes dues aux erreurs de mesurage provenant de l'abaissement du niveau de l'eau dans les compteurs.
41. Chambre syndicale des fabricants d'appareils d'éclairage. — Rapport sur l'Exposition de 1878.
42. D'Hurcourt (E.-Robert). — De l'éclairage au gaz. — 1845. 2e édit. en 1863. 1 vol. in-8°, avec atlas; Paris, Dunod.
43. D'Hurcourt (E.-R.). — Note sur l'industrie du gaz à l'Exposition de 1867. — Grand in-8°, avec 4 fig. et 1 planche; Paris, Lacroix.
44. Demanet. — Exploitation de la houille.
45. Dowson. — Appareil pour la production du gaz à l'eau, journal *la Nature*, n° 693.
46. Dubrulle. — Lampes de sûreté perfectionnées pour mines de houille, fabriques d'alcool, vernis, gaz d'éclairage. Rapport de M. Delezennes. — In-4°; Lille, 1854.
47. Dumon. — Manuel du consommateur de gaz ou dégrèvement annuel de 5 millions de francs au profit des commerçants de Paris et de la banlieue. — In-8°; Paris, 1853.
48. Durand (E.). — Étalon légal ou mesure type du pouvoir éclairant du gaz; commentaire sur l'instruction pratique de MM. Dumas et Regnault. — 1 broch. avec planches; Paris, 1864.
49. Durand (E.). — Brevets pris dans l'industrie du gaz, de 1791 à 1844. — 1 vol. in-8; 1867.
50. Durand (E.). — Questions administratives, en matière d'éclairage au gaz, soumises au Conseil d'État et résolues par lui. — 1 vol. in-18; 1869.
51. Durand (E.). — Recueil de jurisprudence relatif aux différends qui peuvent s'élever entre les Compagnies de gaz et leurs abonnés. — 1 vol. in-18; 1869.
52. Durand (E.). — Législation spéciale contenant toutes les lois, y compris les plus récentes, relatives aux établissements insalubres, aux usines à gaz, aux machines à vapeur, aux dépôts d'hydrocarbures et aux municipalités. — 1 vol. in-18; 1869.
53. Durand (E.). — Contrôle pratique de la qualité du gaz. — 2e édit.; 1 vol. in-18 avec planche; Paris, 1873.
54. Durand (E.). — Service de l'éclairage de la voie publique. — In-18; Paris, 1873.
55. Durand (E.). — Du compteur à gaz pour le service des abonnés. — 1 vol. in-18 avec planches; 4e édit.; Paris, 1883.
56. Durand (E.). — Guide de l'abonné au gaz d'éclairage et de chauffage. — Extrait de la *Houille*. — Nouvelle édit.; Paris, 1874.
57. Durand (E.). — De la comptabilité des usines à gaz. — 1 vol. in-18 avec annexe; Paris, 1874.

58. Durand (E.). — Avantages de l'emploi du gaz à l'éclairage, au chauffage domestique et industriel, ainsi qu'à la production de la force motrice. — Chauffage au coke. — Brochure de 24 pages; Paris.
59. Eldridge. — The gas fitter's Guide. — In-18; Londres, 1872.
60. Fages. — Éclairage de la ville de Narbonne par le gaz hydrogène extrait de l'eau. — Réponses à quelques critiques adressées à l'ingénieur de l'usine à gaz. — In-8°; Paris, 1858.
61. Faraday. — Histoire d'une chandelle. — Paris, Hetzel; 1870.
62. Faure (A.). — Étude sur les procédés de fabrication du gaz à la houille et du gaz à l'eau, proposés par M. Galy Cazalat. — Rapport au comité de l'association des inventeurs; in-8°, Paris, 1855.
63. Fergusson. — Combustion économique du gaz d'éclairage. — In-8°; Mulhouse, 1859.
64. Fichet. — Notice sur l'appareil de M. Orsat pour l'analyse du gaz. — *Mémoire du Bulletin de la Société des ingénieurs civils.*
65. Figuier (L.). — L'art de l'éclairage, extrait des *Merveilles de la science.* — Paris, Hachette et Cie, 1870.
66. Forqueray (E.). — L'Éclairage à l'Exposition universelle. — In-8°; Paris, 1856.
67. Foucault (L.). — Rapport sur le pouvoir éclairant des produits gazeux fournis par la distillation de la tourbe. — Broch. in-8°; Paris, 1855.
68. Fournier (Ch.). — Notice sur un procédé nouveau pour révéler les fuites de gaz dans les appareils d'éclairage et de chauffage. — Broch. in-4° avec planches; Paris, 1860.
69. Fresquet. — Économie dans l'éclairage au gaz ou le propagateur des connaissances utiles aux consommateurs de gaz pour arriver à une économie de 10, 15 et même 20 pour 100. — Broch. in-8°; Bordeaux, 1854.
70. Fuchs (Ed.). — Mémoire sur le pouvoir éclairant du gaz de Bogheard. — In-4°; Paris, 1866.
71. Galy-Cazalat. — Mémoire sur les gaz d'éclairage et de chauffage. — In-4°; Paris, 1855.
72. Gandillot. — Mémoire à M. le Préfet de police sur la nécessité de substituer les tuyaux de fer aux tuyaux de plomb pour les conduites de gaz et d'eau. — In-4°; Paris, 1853.
73. Gueguen. — Mémoire sur la théorie chimique de la production du gaz d'éclairage. — Paris, 1884.
74. Guthfe (J.) et Pers (P.). — De l'éclairage au gaz dans les maisons particulières. — In-18; Paris, A. Guyot et Scribe, 1856.
75. Gaudin (A.). — Chauffage et éclairage à bon marché. — Rapport sur le gaz hydrogène extrait de l'eau, comparé aux gaz de houille et de tourbe. — In-8°; Paris, 1855.
76. Gaudry. — Notice sur l'invention de l'éclairage par le gaz hydrogène carboné, et sur Philippe Lebon d'Humbersin, inventeur. — Paris, 1856.
77. Geinitz (Dr H. B.), Fleck (H.) et Hartig (E.). — Die Steinkohlen Deutschland's und anderer lander Europa's. — 2 vol. avec atlas de 28 cartes; Munich, Oldenbourg, 1865.
78. Germinet (G.). — Traité pratique de chauffage par le gaz. — Paris, N.-J. Philippart, 1868.
79. Germinet (G.). — Le chauffage par le gaz, ses emplois industriels et ses applications aux usages domestiques. — 1 vol. gr. in-18; Lacroix, 1870.
80. Gibon. — Éclairage au gaz. — Broch. extraite du *Dictionnaire des arts et manufactures,* publié par A. Decy; Bruxelles, 1856.

81. Gillard. — Chauffage de Paris à bon marché. — In-8°; Paris, 1855.
82. Girardin (J.) et Buret (E.). — Four à coke nouveau système, avec utilisation simultanée du gaz d'éclairage et de chauffage et de divers produits industriels qui résultent de cette fabrication. — In-4°; Paris, 1858.
83. Girault (E.) — Mémoire sur un projet d'éclairage par le gaz, de chauffage par la vapeur et de ventilation. — In-8°; Paris, Mathias.
84. Giraudon. — Appareil pour la production de l'air carburé, journal *la Nature*, n° 694.
85. Giroud (H.). — De la pression du gaz d'éclairage et des moyens à employer pour la régulariser. — 2 parties et 1 atlas; Paris, 1867.
86. Hugues (S.). — A Treatise on Gas works, and the practice of manufacturing and distributing coal Gas. — Londres, Virtue, Brothers et Cie, 1865.
87. Hugueny (C.). — Traité élémentaire et pratique du chauffage au gaz. — In-8°; Paris, Roret, 1857.
88. Hull (Edw.) — The coal-fields of Great Britain. — 1 vol. in-8° illustré, avec houillère de l'Angleterre; Londres, G. Stanford, 1861.
89. Jeanneney (P.). — Notice sur l'éclairage au gaz. — In 8°; Mulhouse, Baret, 1853.
90. Jeanneney (P.). — Usines à gaz destinées aux établissements industriels. — In-4°; Mulhouse, 1853.
91. Jeanneney (P.). — Notions sur l'emploi du gaz. — In-4°; Mulhouse, 1857.
92. Jeanneney (P.). — Emploi du gaz dans les villes. — In-8°; Strasbourg, 1865.
93. Jobard (J.-B.-M.) — Histoire d'une bulle de gaz, cosmogénie amusante. — In-18; Bruxelles, G. Flateau, 1857.
94. Jordan (S.). — Les usines à gaz de Londres en 1862. — Traduction de l'ouvrage de L. Colburn; 1865.
95. Kersanté (V.). — De l'éclairage public en province ou des moyens de vulgariser en France l'éclairage au gaz de houille et celui plus économique aux gaz de pommes, poires et raisins. — In-8°; Paris, Lacroix.
96. King (W.-B.). — Treatise on the science and practice of the manufacture and distribution of coal gas. — Londres; 2 vol. en cours de publication.
97. Knab (H.-C.). — Études sur les goudrons et leurs nombreux dérivés. — In-8°; Paris, Lacroix, 1856.
98. Krans. — Étude sur le four à gaz et à chaleur régénérée de Siemens. — 1 vol. gr in-8° a cc planches; Paris, Lacroix.
99. Kuchler (F.-N.). — Manuel de l'éclairage par le gaz d'huiles minérales et des huiles à gaz. — 1 vol. avec planches; Munich, R. Oldenbourg; Paris, Lacroix.
100. Lacarrière. — Note sur la situation et l'avenir des compagnies d'éclairage au gaz de Paris. — In-4°; Paris, 1854.
101. Laming. — Variation de pression du gaz d'éclairage. — Mémoire de la Société des ingénieurs civils; Paris, Lacroix.
102. Laura (L'abbé). — Rapport sur les modifications apportées aux systèmes d'éclairage actuellement en usage. — Broch in-4°; Toulon, 1853
103. Lefebre (G.). — Moteur Lenoir, notice et instruction pratique sur le moteur à air dilaté par la combustion du gaz d'éclairage. — In-18; Paris, Dentu, 1864.
104. Lencauchez. — Études sur les combustibles en général et sur leur emploi au chauffage par le gaz.
105. Le Roux (A.). — Manuel du consommateur des gaz d'éclairage et de chauffage. — In-18; Paris, 1856.
106. Letheby (Dr). — Extrait du rapport sur la tourbe comprimée. — In-4°; Paris, 1855.
107. Longbottom (Ab.). — Éclairage au gaz. — Améliorations apportées dans la distilla-

tion de la résine et dans la fabrication du gaz d'éclairage. — In-4°; Paris, 1855.
108. Magnier (D.). — Manuel complet de l'éclairage au gaz. — 1 vol. in-18; Paris, Roret, 1849.
109. Magnier (M.-D.). — Nouveau manuel complet de l'éclairage et du chauffage par le gaz. — 2 vol. in-18 avec planches; Paris, Roret, 1866.
110. Magnier (M.-D.). — De la fabrication et l'emploi des huiles minérales. — In-18; Paris, Roret, 1867.
111. Magnier (M.-D.). — Tablettes techniques de l'industrie du gaz. — Paris, Roret, 1877.
112. Magnus-Ohren. — On the advantages of gas for cooking and heating. — Londres, 1875.
113. Mallet (A.). — Notice sur l'épuration du gaz d'éclairage, 1842.
114. Mallet (A.). — Notice sur l'épuration du gaz d'éclairage. 1845.
115. Mallet. — De l'éclairage par le gaz. — Extrait du *Dictionnaire des arts et manufactures* de Laboulaye. — Paris, 1874.
116. Marchand (E.). — Appareils à gaz d'éclairage. — In-8°; Paris, 1855.
117. Marriott (T.-I.) et Glover (C.). — The Gas consumer's manual. — Londres, Simpkin, Marshall et Cie, 1862.
118. Martel (A.). — Manuel de la salubrité de l'éclairage et de la petite voirie. — Paris, Cosse et Marchal, 1859.
119. Matthews (W.). — An historical sketch of the origin and progress of gaz Lighting. London, Simpkin et Marshall, 1832.
120. Mercier. — Notice sur le traitement de la tourbe et sa carbonisation par les procédés brevetés de l'auteur. — In-4°; Paris, 1859.
121. Merle (G.). — Traité sur le gaz et tous les appareils nécessaires à sa fabrication. — Paris, Roret, 1837.
122. Moigno (L'abbé). — Les éclairages modernes. — Paris, Gauthier-Villars, 1867.
123. Moise. — Du gaz d'éclairage dans le département de la Seine. Études sur la question. — Dentu, 1883
124. Mongruel. — Révolution économique dans l'industrie de l'éclairage par application du photogène et du générateur Mongruel. — In-8°; Paris, 1862.
125. Monnier (D.). — Aide-mémoire pour le calcul des conduites de distribution du gaz d'éclairage et de chauffage. — Broch. in-4°; Paris, Baudry, 1876.
126. Moret d'Aiguebelle (A. de). — Éclairage et chauffage par le gaz hydrogène pur extrait de l'eau (procédé Gillard), adopté par la ville de Narbonne. — In-4°; Carcassonne, 1856.
127. Mousseron (E.). — Grandeur et décadence; la pompe et la fuite des gaziers; charge héroï-comique en trois temps. — Paris, 1868
128. Muller (Ad.) — Éclairage au gaz de naphte. — In-8°; Paris, Vallée, 1868.
129. Newbigging (Th.) — The gas manager handbook. — Londres, W.-B. Bing, 1870.
130. Nicolas et Chamon. — Notice sur les appareils spéciaux pour usines à gaz.
131. Nodier (Ch.) et Pichot (A.). — Essai critique sur le gaz hydrogène et les divers modes d'éclairage artificiel. — In-8°; Paris, 1823.
132. Patot (H.). — Le gaz à domicile, système R. de Curel et J. Corso. — In-8°, Marseille, 1860.
133. Patterson. — On gas purification. — In-8°; Londres, W. Blackwood et Sons, 1874.
134. Peckston. — Practical treatise on the manufacture of Gas. — London, 1819.
135. Péclet (E.). — Traité de l'éclairage. — Paris, Malher et Cie, 1827.
136. Péligot. — Note sur l'appareil dit saturateur, propre à saturer le gaz d'éclairage, par Lacarrière aîné. — In-8°; Paris, 1857.

137. Pelouze (père). — Traité de l'éclairage au gaz. — 1 vol. in-8° avec planches; Paris, 1839.
138. Pelouze (père). — Traité de l'éclairage au gaz, revu par Pelouze fils. — 2 vol. dont 1 atlas; Paris, 1858.
139. Perissé. — Note sur le four à gaz avec récupérateur de chaleur, système Ponsard. — 1 vol. in-8° avec figures et planches; Paris, Lacroix.
140. Pellion (Petit-Pierre). — L'éclairage électrique et l'éclairage au gaz. — In-8° de 14 pages; Paris, Lacroix.
141. Pillet. — Traité de l'éclairage.
142. Pollacci (E.). — Storia chimica, fisica, ingienica e industriale della illuminazione a gaz. — Florence, E. et F. Cammelli, 1867.
143. Pouillet. — Gaz hygiénique pour éclairage et chauffage. — Mémoire sur le gaz extrait de l'huile de résine. — Deux rapports à l'Institut en 1834. — In-4°; Paris.
144. Quaglio (Julius). — Catéchisme de l'industrie du gaz. Ouvrage destiné aux ingénieurs, directeurs, installateurs, fabricants, etc. — 1 vol. petit in-8° avec 6 planches, nombreux dessins dans le texte; imprimé en langue allemande à Vienne (Autriche), chez MM. Lehmann et Wenkel, librairie technique et artistique, 1876.
145. Reissig (D.-W.) et Schilling (N.-H.). — Handbuch für holz und torf gas beleuchtung (Traité du gaz au bois et à la tourbe). — Munich, R. Oldenbourg, 2 vol. avec planches, 1863.
146. Rouget. — Du mesurage exact du gaz.
147. Rutter (J.-B.). — De l'éclairage au gaz dans les maisons particulières, 1856.
148. Sage (B.-G.). — De la nature et de la production du gaz électrifiable. — In-8°; Paris, Didot, 1815.
149. Salmon. — Nouveau système de four à coke et à gaz. — In-8°; Paris, 1856.
150. Sauvage (C.). — Le secret du compteur. — In-16, Paris, 1854.
151. Schilling (N.-H.). — Handbuch für Steinkohlen gasbeleuchtung. — Munich, R. Oldenbourg.
152. Schilling (N.-H.). — Même ouvrage, traduction Servier. — Paris, Lacroix, 1866.
153. Schilling (N.-H.). — Statistische mittheilungen uber die Gasanstalten Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz. — Munich, R. Oldenbourg, 1877.
154. Sebille (Ch.). — Réponse au mémoire adressé par M. Gandillot à M. le Préfet de police sur la nécessité de substituer les tuyaux de fer aux tuyaux de plomb pour les conduites de gaz. — In-4°; Nimes, 1853.
155. Servier (E.). — Notice sur le moniteur électromagnétique de pression ou de niveau à maxima et minima. — In-16; Paris, 1859.
156. Servier (E.). — Notice sur l'auto-régulateur à gaz breveté. — In-4°; Paris, 1861.
157. Servier (E.). — Éclairage au gaz et à l'électricité. — In-8° avec figures et planches; Paris, Lacroix.
158. Siemens (G.-W.). — Four à gaz à chaleur régénérée. — In-8°; Paris, Dunod, 1867.
159. Somzée. — Série de dessins de l'usine à gaz de Bruxelles. — Paris, E. Bernard, et Cie, 1883.
160. Somzée. — Étude sur les joints de conduite d'eau et de gaz.
161. Schilling. — L'éclairage électrique et l'éclairage au gaz. Traduction Colladon.— Genève.
162. Strong. — Appareil pour la production du gaz à l'eau, journal *la Nature*, n° 693.

163. Tavignot (Dr). — Mémoire sur l'éclairage au gaz. — Broch. in-8°; Paris, Leclère, 1858.
164. The Gas Works Statistics. — Londres, Hastings, 1882.
165. Théry (Edmond). — La question du gaz à Paris. — Publication de la grande Encyclopédie, Paris, 1882.
166. Tissandier (G). — La houille. — 1 vol. in-8°, orné de vignettes; Paris, L. Hachette et Cie, 1869.
167. Tresca. — Sur l'invention et l'avenir des machines à gaz combustibles. — In-8°; Paris, 1861.
168. Trottier, Schweppé. — Tuyaux en bois et coaltar combinés pour conduites d'eau et de gaz. — In-12; Angers, 1855.
169. Witz (Aimé). — Études sur les moteurs à gaz. — In-8°; Paris, G. Bernard et Cie, 1883.
170. Wurtz. — Dictionnaire de chimie pure et appliquée. — Hachette.

PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

1. Bulletin de l'Association des gaziers belges.
2. Bulletin de la Société technique de l'industrie du gaz, 9, rue de Provence.
3. American Gaslight Association. Report of proceedings. — New-York.
4. British Association of Gas managers. Report of proceedings. — Londres.
5. Journal de l'éclairage au gaz — depuis 1852 — 5 et 20 de chaque mois. — Paris, 4, place de la Bourse.
6. Le Gaz — depuis 1857 — 15 de chaque mois. — Paris, E. Durand, bureaux : 66, Faubourg Montmartre.
7. The Journal of Gas lighting water supply and sanitary improvement — depuis 1851 — tous les jeudis. — Londres, 42, Westminster Parliament Street.
8. The Gas Trade circular and review — tous les 15 jours. — Londres, Buckingham Street Adelphi W. C.
9. The Gas Engineer — tous les mois. — Birmingham, 71, Broad Street.
10. Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung — depuis 1860. — Munich (Bavière, R. Oldenbourg.
11. The American Gas light, Journal and chemical repertory — depuis 1859 — les 2 et 16 de chaque mois. — New-York, 42, Pine Street.
12. Le Charbon — hebdomadaire. — Paris, 211, Faubourg Saint-Martin.
13. Organe industriel de l'éclairage — hebdomadaire. — Bruxelles, rue Royale, 217.
14. Journal des usines à gaz, organe de la Société technique — 5 de chaque mois. — Paris, 18, rue de Maubeuge.
15. Hel Gas. — Hollande, Gouda, H. Roll.
16. Journal du gaz et de l'électricité — hebomadaire. — 25, rue de Navarin.
17. The Review of Gas and Water engineering. — Londres, Buckingham Street Adelphi W. C.
18. Der Gastechniker — tous les 15 jours. — Vienne, D. Colgierina, ingénieur.
19. Le Moniteur de l'industrie du gaz — depuis 1876 — 10 et 25 de chaque mois. — Paris, 72, rue des Martyrs.
20. Le Constructeur d'usines à gaz — mensuel. — Paris, E. Durand, éditeur, 66, Faubourg Montmartre.

Eaux ammoniacales.

1. Annalen der Chemie und Pharmacie; t. CXIII, XCIII.
2. Bulletin de la Société technique de l'industrie du gaz en France; années 1874 à 1887.
3. Bulletin de la Société chimique; t. XXVII et XXXVI.
4. Chemical News; t. XII, XVIII, XXXII, XXXVIII.
5. Dingler's Journal; t. CCXVI, CCXXIII, CCXIII, CCXXXV, CCXLI, CCXXXII, CCXXXV.
6. Knapp, trad. Debize et Mérijot. — Chimie technologique. — 2 vol. in-8°; Dunod, 1862.
7. Lormé. — Fabrication des produits chimiques, Roret. — 4 vol. in-12 et atlas.
8. Lunge, trad. Gautier. — Traité de la distillation du goudron de houille et du traitement de l'eau ammoniacale. — In-8°; Savy, 1885.
9. Magnier. — Manuel d'éclairage au gaz, Roret. — In-12; 1866.
10. Moniteur des produits chimiques. — 1887-1888.
11. Moniteur scientifique. — 1886.
12. Schilling, trad. Servier. — Traité d'éclairage par le gaz de houille. — In-4°; Lacroix.
13. Wagner's Jahresbericht. — 1861, 1867, 1870, 1876, 1877.
14. Wagner, trad. Gautier. — Traité de chimie industrielle. — 2 vol. in-8°; Savy, 1879.
15. Wurtz. — Dictionnaire de chimie pure et appliquée. — Hachette, 1876.

Goudron.

1. Auerbach. — Das Anthracen.
2. Barreswill et A. Girard. — Dictionnaire de chimie industrielle. — 4 vol. in 8°; Tandou, 1864.
3. Berthelot. — Traité de chimie organique. — In-8°; Dunod, 1872.
4. Bolley et Kopp, trad. Gautier. — Traité des matières colorantes dérivées du goudron de houille. — In-8°; Savy.
5. Bulletin de la Société d'encouragement. — 1876.
6. Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse. — 1864-66.
7. Bulletin de la Société chimique. — 1866.
8. Calvet (A.). — Traitement des goudrons de houille. — Broch. in-8°; Michelet, 1882.
9. Chemical News; t. XVI, XX, XXIV, XXX, XXXI, XXXIII, XXXIV, XXXIX, XL, XLIII.
10. Chemiker Zeitung. — 1879, 1880.
11. Chemische Industrie. — 1880.
12. Deutsche Industrie Zeitungs. — 1865.
13. Dingler's Journal; t. CXVII, CXLVIII, CXXXVI, CXLVI, CXLVII, CXLVIII, CLV, CLVII, CLXIV, CLXVI, CLXVII, CLXVIII, CLXXV, CLXXIX, CC, CCVIII, CCXIV, CCXXXII.
14. Engineer. — 1880.
15. Girard et de Laire. — Traité des dérivés de la houille applicables à la production des matières colorantes. — In-8°; Bernard-Tignol.

16. Haussermann. — Industrie der Theerfarbstöffe.
17. Jacobsen's Chem. Techn. Repertorium. — 1869.
18. Knab. — Étude sur les goudrons. — In-8°; Lacroix, 1874.
19. Knapp, trad. Debize et Mérijot. — Traité de chimie technologique. — 2 vol. in-8°; Dunod.
20. Lunge, trad. Gauthier. — Traité de la distillation des goudrons de houille. — In-8°; Savy.
21. Muspratt-Stohmann. — Traité de chimie. — 6 vol.
22. Philosophical Magazine; t. XLV.
23. Ronald et Richardson. — Chemical technology.
24. Technologiste. — 1861.
25. Thénius. — Die Technische Verwendung des Steinenkohlentheers.
26. Wagner, trad. Gautier. — Traité de chimie industrielle. — 2 vol. in-8°; Savy, 1879.
27. Wagner's Jahresbericht; 1855, 1858, 1859, 1860, 1861, 1862, 1863, 1865, 1866, 1867, 1868, 1869, 1870, 1871, 1872, 1873, 1874, 1877, 1878, 1879.
28. Wurtz. — Traité des matières colorantes.
29. Wurtz. — Dictionnaire de chimie pure et appliquée. — Hachette, 1879.

TABLE DES MATIÈRES

IV. — FABRICATION DU GAZ.

V. — PRODUITS DÉRIVÉS.

APPENDICE.

BIBLIOGRAPHIE.

BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE

SOUS PRESSE

Badoureau. — Essai d'un exposé de l'état actuel des sciences expérimentales.

Lefèvre et Cerbelaud. — Les Chemins de fer.
