BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE MM. PICHOT ET GRANGIER

LA HOUILLE

ET SES DÉRIVÉS

PAR

O. CHEMIN

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées
Professeur à l'École des Ponts et Chaussées

ET

F. VERDIER

Ingénieur civil.

PARIS

MAISON QUANTIN

COMPAGNIE GÉNÉRALE D'IMPRESSION ET D'ÉDITION

7, RUE SAINT-BENOÎT

INTRODUCTION

La seconde moitié du XIXe siècle aura été fertile en publications de tout genre, et parmi les livres dont nos bibliothèques se seront enrichies, ceux dits *de vulgarisation* n'auront pas été les moins nombreux. C'était une excellente idée que de vouloir répandre dans les masses les grandes vérités scientifiques; Arago, dans son astronomie populaire, et Babinet, dans ses spirituelles causeries, l'ont appliquée avec un rare bonheur. Malheureusement, leurs imitateurs n'ont pas toujours suivi la voie tracée par ces maîtres illustres. Sous prétexte d'obtenir une plus grande diffusion et pour rendre plus facile la lecture de leurs compilations, ils ont substitué des banalités aux principes de la science et nous ont donné des livres de récréation plutôt que des livres d'enseignement. Mais l'instruction a fait, depuis quelques années, de grands progrès et a pénétré dans toutes les couches sociales. Aussi le lecteur tend-il à se montrer plus exigeant et à demander sur toutes choses des renseignements précis. C'est pour répondre à ce besoin que nous avons voulu créer une *Bibliothèque des*

Sciences et de l'Industrie. Si dans les œuvres littéraires, où l'imagination semble appelée à jouer le rôle principal, on cherche à substituer à la fantaisie pure ce qu'on appelle les documents humains, n'est-il pas naturel que les chefs de nos grands établissements industriels, auxquels leur éducation première a rendus familiers les principes de la science, renoncent à l'esprit de routine et s'appuient désormais, en connaissance de cause, sur les résultats pratiques que les savants ont déduits logiquement de la théorie. Les sciences expérimentales ont atteint aujourd'hui un haut degré de perfection; toute industrie nouvelle devra, sous peine de déchéance rapide, être fondée sur les lois que des expériences irréprochables ont permis d'établir. On n'avait pas encore essayé de réunir en un corps de doctrine l'état actuel des sciences expérimentales. Un ingénieur des mines des plus distingués, M. Badoureau, vient de combler cette lacune, et nous pourrons bientôt offrir le fruit de ses recherches à nos lecteurs, qui auront ainsi entre les mains un traité complet sur cette matière à la fois si utile et si intéressante.

Nous présentons aujourd'hui au public le premier volume de notre collection.

La Houille et ses dérivés est le vrai livre de vulgarisation tel que nous le comprenons. Il n'est pas trop technique, et les auteurs n'ont employé que des expressions à la portée de tous. Sans doute, il aurait fallu plusieurs volumes pour étudier, dans tous ses détails, ce sujet très complexe et d'une grande importance pratique. Mais si, dans un nombre de pages restreint, on n'a pu donner aux différents chapitres tous les

développements qu'ils comportent, cette lacune a été comblée au moyen de notes et d'une bibliographie très complète qui renvoie le lecteur aux mémoires originaux et aux traités spéciaux. C'est là seulement qu'on peut trouver les renseignements techniques et les détails des opérations industrielles dont le livre ne doit donner que le résumé.

Les ouvrages qui composeront notre bibliothèque seront écrits dans le même esprit de vulgarisation pratique, en se maintenant toujours dans la rigueur scientifique. Ils permettront aux lecteurs de connaître les grandes lignes des diverses industries, sans être arrêtés par des détails qui n'intéressent que les gens du métier. Il ne faudrait pas croire cependant que nos livres seront inutiles aux personnes qui s'occupent spécialement des sujets que nous allons traiter. Au contraire, ils constituent pour elles des sommaires précieux avec indication des sources où l'on pourra s'éclairer d'une manière plus complète.

Dans les dessins qui accompagneront le texte et faciliteront les explications, nous éviterons en général l'emploi des figures dites de démonstration, qui, sous prétexte d'être plus faciles à comprendre, sont souvent, dans les ouvrages classiques, absolument inexactes et donnent une fausse idée de la réalité.

Tout nous permet donc d'espérer que les personnes curieuses des choses de la science et de l'industrie accueilleront avec faveur notre bibliothèque où les sujets les plus variés et les plus actuels seront traités par des auteurs d'une compétence indiscutable. Ils demanderont aux sciences les secrets de leurs enseignements les plus féconds et sauront instruire le lecteur sans le fatiguer.

LA HOUILLE

ET SES DÉRIVÉS

LA HOUILLE

I

NATURE, COMPOSITION, PROPRIÉTÉS

Historique de l'emploi de la houille.

L'histoire de l'emploi de la houille est l'histoire même des progrès de l'industrie moderne ; elle la suit pas à pas, se développe avec elle. Les procédés de l'industrie lui profitent sans cesse, en même temps que celle-ci s'étend en raison même de la production de ce combustible à meilleur marché. Aussi peut-on dire que le degré de civilisation d'un pays est proportionnel à sa consommation de houille. Toutes les industries en dépendent, qu'elles en usent comme source de chaleur employée directement ou comme source de force motrice, par emploi indirect. L'électricité même, cette force motrice de l'avenir, se produit au moyen de la houille, en attendant que les forces naturelles mieux utilisées permettent de l'obtenir par une transformation immédiate de la force en énergie électrique, au lieu de changer d'abord la chaleur en force, puis en électricité.

Aussi, dans les temps anciens, où l'industrie était peu déve-

loppée, il n'est pas question de houille : les bois suffisaient. La surface du sol, alors moins cultivée, était couverte de forêts qui alimentaient les petites industries locales. Les anciens cependant connaissaient la houille [1], mais plutôt comme une curiosité géologique. Le nom d'*ambre noir* donné à certaines pierres désignait sans aucun doute la houille ou le lignite.

Les anciens avaient bien remarqué cette pierre qui brûle, mais ils n'avaient aucunement cherché à l'utiliser, sauf dans quelques cas exceptionnels, faute de mieux et provisoirement. Du reste, ils avaient dû considérer la houille comme un mauvais combustible, désagréable à brûler en raison de sa fumée et de la difficulté qu'ils éprouvaient à l'allumer, parce qu'ils n'avaient pas de foyers spéciaux ni de grilles appropriées.

Il faut arriver jusqu'au moyen âge pour trouver trace de son emploi ; et au IXe siècle, on ne citait encore la houille que comme une matière curieuse, comme une pierre rare, mais sans dire qu'elle pût être utile. On n'était pas plus avancé qu'aux temps anciens.

Le premier usage de la houille a été le chauffage domestique, et c'est en Angleterre qu'au commencement du XIIe siècle les habitants essayèrent de l'utiliser. Ces tentatives se firent naturellement surtout dans les pays où on la rencontre facilement et à la surface du sol. En 1239, Henri III accordait à certains mineurs de Newcastle le droit privilégié de l'extraire. Peu à peu, l'usage s'en répandit ; du Northumberland l'exploitation de la houille s'étendit en Écosse, et bientôt les habitants de Londres commencèrent à s'en servir. Mais, de même que tout progrès, la houille eut à lutter pour se faire adopter sans contestation. La fumée noire qu'elle répandait partout la faisait regarder d'un mauvais œil. On lui attribua toutes les maladies du moment, on lui reprocha même d'être la cause d'épidémies. Aussi eut-on bientôt recours aux pouvoirs publics pour en faire interdire l'emploi. Élisabeth et Édouard Ier

1. Théophaste, dans son *Traité des pierres*, la désigne sous le nom de *lithantrax*.

rendirent des édits contre le nouveau combustible, et les habitants de Londres protestèrent par des pétitionnements au Parlement. On demandait que son emploi fût au moins interdit dans les villes. Mais, si quelques personnes réclamaient contre la houille, d'autres, et ce fut le plus grand nombre, lui reconnurent des avantages : son économie, la forte chaleur qu'elle donnait; enfin, qualité inattendue, on prétendit qu'elle avait des propriétés médicales spéciales, et nombre de médecins ordonnèrent sa fumée contre la phtisie et pour la guérison des maladies de foie. La nécessité, plus forte que les préjugés, finit par la faire adopter quand même. Les forêts devenaient plus rares, le bois plus cher, et l'industrie ayant bientôt commencé à s'en servir, elle eut enfin droit de cité en Angleterre.

Sur le continent, la houille ne fut employée que plus tard. Sans doute, le voyageur vénitien Marco Polo racontait bien, dans ses relations de voyage, que les Chinois brûlaient une pierre noire pour obtenir de la chaleur et que son usage était très ancien en Chine. Ce fut un hasard qui en fit connaître les qualités. La légende raconte qu'un pauvre forgeron du pays de Liège, n'ayant plus le moyen d'acheter du charbon de bois, eut l'idée — inspirée, dit la tradition, par un ange — d'alimenter sa forge avec cette pierre noire qu'il trouvait en haut de la colline de Publémont.

Ce forgeron, nommé Hullos de Plainecaux, vivait vers 1190, et c'est ainsi que les habitants de Liège lui attribuèrent la découverte de la houille. Le fait est que son usage se répandit rapidement en Belgique, et que le prince-évêque de Liège, Albert de Cuyck, accorda en 1198 aux habitants de la ville une charte leur permettant l'extraction et l'emploi de cette matière.

On attribue l'origine du mot houille justement à Hullos, le forgeron. De Hullos, on a fait Hulla, puis par corruption houille.

En France, la houille ne fut introduite que très tard, car son usage y était interdit au commencement du XVIe siècle.

La houille ne servit d'abord, comme nous disions plus haut, qu'aux usages domestiques, et l'on n'utilisa que les gisements qui se présentaient à fleur de terre. C'est seulement vers le commence-

ment du XVIIIe siècle que son exploitation prit de l'importance, par suite de son utilisation dans les hauts-fourneaux et plus tard pour la machine à vapeur. Du reste, les premières exploitations étaient absolument rudimentaires ; les mineurs n'aimaient pas à aller à une grande profondeur sous le sol. On regardait avec terreur, en ces temps de superstitions, ces sombres galeries que l'imagination peuplait de gnomes, de vampires et d'êtres fantastiques. Les vestiges des mondes disparus, les fossiles végétaux ou animaux que les mineurs rencontraient dans leurs galeries leur semblaient les restes d'êtres surnaturels vivant dans les mines. Témoin cette reconstitution d'un fossile de la houille (fig. 1) que nous reproduisons d'après le *Monde souterrain* du Père Kircher.

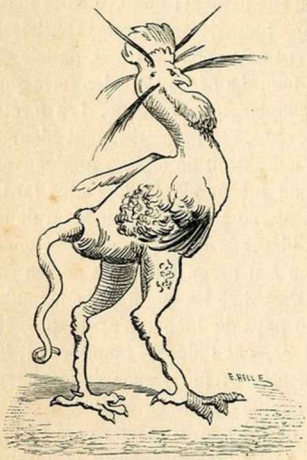


Fig. 1. — Fossile chimérique de la houille, d'après le P. Kircher.

Ce n'est que très lentement que les exploitations se perfectionnèrent. Pendant longtemps, les transports se faisaient à dos d'hommes courbés dans les galeries basses, et il fallait ensuite remonter par de longues échelles de petites charges de houille jusqu'à la surface du sol. Dans la suite, on employa au fond des mines des brouettes, puis des chariots roulant sur les débris schisteux disposés en sorte de pavage ; pour ramener la matière au niveau du sol, les mineurs utilisèrent des manèges mus par des hommes, puis par des chevaux et même par des moulins à vent. Le développement de cette industrie souterraine suivait celui de toutes les industries qui se perfectionnaient au dehors.

Enfin parut la machine à vapeur, bien rudimentaire à ses débuts. C'est justement dans les mines qu'elle fut d'abord utilisée. La nécessité, mère de l'invention, fit trouver par le mineur, qui était le plus intéressé, l'emploi de la machine à vapeur, qui des mines obscures partit à la conquête du monde. Les premières machines, brevetées en 1698 par le capitaine Savery, étaient appliquées à l'épuisement de l'eau des mines. Ces premières machines, tout imparfaites qu'elles étaient, élevaient l'eau à une hauteur de 60 mètres. Puis vinrent Newcomen et Cawley, qui s'associèrent à Savery, l'enfant Humphrey Potter, qui, chargé de manœuvrer les robinets distribuant la vapeur, eut l'idée, pour aller jouer, de les faire manœuvrer automatiquement; Kean Fitzgerald, qui appliqua le volant; enfin James Watt, qui inventa le condenseur, la machine à double effet, le parallélogramme et la détente, et amena la machine, d'abord toute spéciale aux mines, au plus grand perfectionnement.

L'industrie de l'extraction de la houille eut alors un outil puissant, qui économisait la force musculaire des mineurs pour l'extraction, épuisait l'eau qui se répandait dans les mines, et qui permit d'aller chercher le charbon à de plus grandes profondeurs. Mais si la machine à vapeur facilitait l'exploitation de la houille, elle se répandait en même temps dans toutes les industries exigeant de la force motrice et, par suite, nécessitait des quantités de combustible de plus en plus grandes. Utilisant les perfectionnements apportés du dehors, elle devenait plus parfaite dans les mines. Les progrès de l'industrie humaine servaient ainsi à l'amélioration de la machine à vapeur, qui en était le point de départ; de même les découvertes faites au dehors servaient aux houillères. Les anciens procédés d'exploitation, qui se perfectionnaient grâce à l'emploi de la vapeur, se transforment également au point de vue du transport. Les premières mines de houille employaient, pour faciliter la traction, des dalles en pierre. Vers la fin du XVIIe siècle, on fait usage de rails en bois pour le transport du charbon aux navires à Newcastle-on-Tyne. En 1776, le directeur des charbonnages du duc de

Norfolk, près de Sheffield, se servait de rails en fer sur champ. C'est seulement vers la fin du XVIIIe siècle qu'on imagina les traverses et les moyens de réunir les rails bout à bout. Les wagonnets étaient tirés par des chevaux. En 1804, Trévitick et Vivian construisirent une machine locomotive pour traîner des wagons de charbon sur les rails. En 1814, Georges Stephenson imaginait pour le transport des houilles des mines de Killingworth une locomotive à quatre roues accouplées par chaîne sans fin. Cette machine transportait un poids utile de 30 tonnes à la vitesse de 6 kilomètres et demi à l'heure. On le voit, le chemin de fer, comme la machine à vapeur, prenait naissance dans les mines de charbon. C'est seulement en 1829 que, par la création de la locomotive *la Fusée* et par son application au chemin de fer de Liverpool à Manchester, Robert Stephenson fit entrer le chemin de fer dans l'industrie toute moderne des transports à vapeur.

Ainsi, dans tous les détails, les perfectionnements s'ajoutaient aux perfectionnements au fur et à mesure du développement de la consommation de la houille : un des plus graves dangers auquel le mineur était exposé était le *grisou*. Autrefois, pour s'en débarrasser, un mineur appelé *le Pénitent*, la tête enveloppée d'un sac, le bras armé d'une mèche allumée au bout d'un long bâton, se traînait sur le sol pour aller enflammer le redoutable gaz et, exposant sa vie pour préserver celle d'un grand nombre d'ouvriers, était bien souvent victime de son dévouement. Le physicien Humphry Davy inventa la lampe de sûreté, qui permet au mineur de circuler dans les galeries grisouteuses sans crainte d'explosion. Malheureusement la lampe de sûreté s'éteint facilement, par suite de l'inflammation brusque du gaz à l'intérieur, mais la flamme ne se propage pas au dehors. Elle a aussi l'inconvénient de peu éclairer, malgré les perfectionnements apportés depuis l'invention de Davy par Roberts, du Mesnil, Mueseler, Combes, etc.

Aujourd'hui on commence à introduire dans les houillères la lumière électrique, qui éclaire bien et est exempte du danger d'allumer les mélanges explosifs gazeux. Il est à remarquer que c'est

en faisant des recherches pour arriver à confectionner une lampe de mineur que Davy a trouvé la lumière électrique.

Au travail musculaire dans les mines se substitue peu à peu, comme dans toute l'industrie, le travail mécanique. Le *havage* lui-même commence à se faire mécaniquement ; les perforatrices à air comprimé, créées d'abord pour le percement des grands tunnels, s'emploient dans les mines. En même temps que les moyens d'extraction se perfectionnent, les mineurs se préoccupent plus de la qualité du charbon fourni ; on a soin de le nettoyer, de le trier et de le classer selon les demandes des consommateurs. D'un autre côté, le public, qui se sert plus fréquemment de la houille, soit pour les usages domestiques, soit pour l'industrie, sait mieux choisir celle qui lui convient pour le but à atteindre ; il emploie des appareils qui l'utilisent plus avantageusement. On peut dire qu'actuellement la houille est universellement employée dans les cinq parties du monde ; personne aujourd'hui n'aurait l'idée, comme au temps où elle fit son apparition, de vouloir s'opposer à l'usage de ce combustible duquel dépendent la puissance de l'industrie et la richesse des pays qui le possèdent.

Formation de la houille et gisements principaux.

Beaucoup d'hypothèses ont été émises sur l'origine des gisements de houille. Nous assistons encore de nos jours à la formation d'un combustible spécial, la tourbe ; mais il est évident que l'origine de la houille ne lui est pas comparable. En effet, les végétaux qui constituent la tourbe, et dont les espèces se modifient du reste avec l'avancement de la formation des tourbières, ne sont pas de même nature que ceux qui ont concouru à donner naissance à la houillère. Les travaux assez récents de M. Renault et de M. Fayol permettent de croire que cette matière est formée d'une agglomération de végétaux qui ont subi une contraction allant jusqu'à 16/17 (*Arthropitus gigas*) pendant leur transformation en houille. L'examen microscopique en couches très minces montre très nettement

la constitution contractée de ces végétaux et laisse très visibles les caractères spéciaux à chacune des espèces constitutives.

Les lignites, les houilles et l'anthracite doivent leur origine à la décomposition de végétations éteintes aujourd'hui. La flore des houillères n'existe plus sur le sol qui les contient à notre époque. Le climat évidemment n'était pas le même, la nature de cette végétation le prouve, et aux époques géologiques de la formation

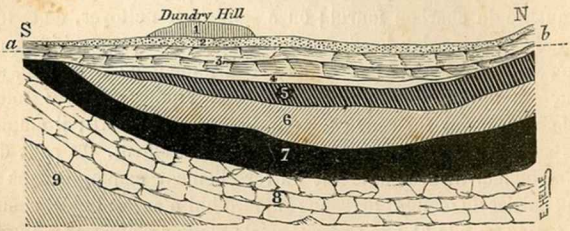


Fig. 2. — Coupe géologique de terrains houillers au sud de Bristol.

a b. Niveau de la mer. — 1. Oolithe inférieur. — 2. Lias. — 3. Nouveau grès rouge. — 4. Conglomérat magnésien. — 5. Étage houiller supérieur. — 6. Grès. — 7. Étage houiller inférieur. — 8. Calcaire carbonifère. — 9. Vieux grès rouge.

de la houille, la végétation, sous l'influence de la chaleur tropicale et de l'humidité de l'atmosphère, était d'une puissance énorme. Les végétaux poussaient et mouraient en s'entassant les uns sur les autres, quelquefois sur des épaisseurs considérables; puis une modification du régime des eaux amenait des inondations entraînant le produit des roches désagrégées et des sables qui venaient former des couches de roches schisteuses ou gréseuses. Lorsque les eaux s'écoulaient dans une direction nouvelle et laissaient découvrir la surface du sol, la végétation repartait et formait une autre série de plantes, qui, se décomposant encore successivement, créaient de nouvelles couches de houille, au milieu desquelles restaient souvent tout debout les troncs de fougères arborescentes. La figure 2 donne une coupe de terrains houillers où l'on voit nettement superposées les formations successives de deux couches de houille.

On trouve quelquefois un grand nombre de ces couches de houille superposées et séparées par des roches. Souvent, par suite de la contraction éprouvée dans les couches inférieures de ces plantes en décomposition, un affaissement brusque se produisait, ou bien cet affaissement avait lieu lentement. De là la forme généralement en cuvette des *bassins houillers*; de là aussi les *failles* et les *dykes* que l'on observe sans cesse dans les couches de houille, où ces bouleversements sont si fâcheux pour l'exploitation.

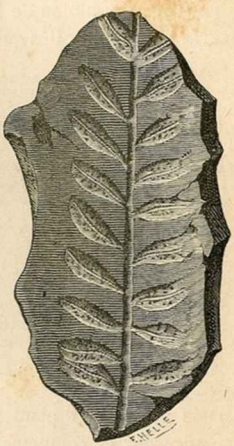


Fig. 3.
Plante fossile de la houille.

Cette transformation des végétaux organisés a eu lieu d'abord sous l'influence d'une fermentation des plantes, puis sous celle de la pression des couches supérieures et de la chaleur intense du sol. Les organismes, composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, se décomposaient sous ces diverses influences, l'hydrogène et l'oxygène se séparant du carbone et se combinant en partie avec lui sous forme d'hydrogène carboné, d'hydrocarbures, de pétrole et d'acide carbonique. Ce dégagement peut encore être observé de nos jours, et, du reste, l'anthracite, qui est du carbone presque pur, est plus ancien que la houille, tandis que les charbons bitumineux sont de formation plus récente. Les végétaux qui ont constitué la houille sont surtout les *Lepidodendra*, les *Sigillariées*, les *Stigmariées*. Ces plantes cryptogames, fougères (fig. 3), lycopodes, presles, non seulement formaient les couches de la houille après leur mort, mais servaient pendant leur vie à la nourriture d'une multitude d'animaux, dont les vestiges se retrouvent au milieu des couches, et des poissons nombreux, dont la majeure partie des espèces n'a plus de représentants à la

surface du globe (fig. 4), des mollusques (fig. 5), des coraux, des polyzoaires. Ces animaux se sont décomposés comme les végétaux et ont concouru à la formation de la houille en lui fournissant de l'azote. Nous verrons plus loin, en traitant de la composition des houilles, que les formations les plus anciennes sont celles qui renferment les houilles les plus pures.

Cette formation de la houille remonte à l'origine de la vie à la surface du globe. Dès que la désagrégation des roches de formation

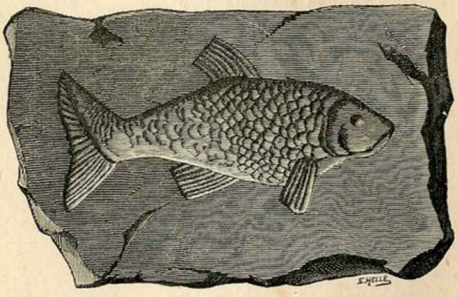


Fig. 4. — Poisson fossile de la houille.

ignée permit aux plantes de se développer, les végétations ont pu se succéder et commencer à former le charbon de terre par leurs décompositions successives. Aussi l'on constate que les gisements de houille sont antérieurs à la craie, aux sables, aux argiles, et que les veines augmentent d'épaisseur avec la profondeur. En arrivant aux temps plus rapprochés de nous, le climat se refroidissait, la végétation était moins active et, par suite, la formation de la houille moins rapide. En outre, l'activité de la végétation dépendait de la nature des roches désagrégées dans lesquelles poussaient les plantes. Aussi existe-t-il une liaison très nette entre la puissance des veines de houille et la nature géologique des terrains environnants, ou plutôt des bassins. L'étude de la composition géologique de ces terrains houillers a une grande importance; la con-

naissance des *gisements* de houille, pour employer l'expression propre, est du plus haut intérêt, non seulement au point de vue scientifique, mais encore au point de vue de l'avenir industriel et économique de l'humanité.

En effet, en présence du développement continu de l'industrie, on peut se demander ce que deviendrait le monde sans le charbon de terre, en attendant que l'on ait trouvé moyen de le remplacer. Jusqu'ici, les découvertes faites, les moyens proposés pour remplacer la houille n'ont rien donné de réel. L'eau, décomposée en hydrogène et oxygène, serait bien un combustible excellent; mais il faut opérer cette décomposition, c'est-à-dire qu'il faut de la force, et pour faire de la force le charbon est nécessaire, car les forces naturelles ne sont pas gratuites, en admettant même qu'elles soient économiques. La radiation solaire, dont on a beaucoup parlé depuis les travaux d'Ericson, en Amérique, et de Mouchot en France, n'est utilisable que dans les pays chauds. L'électricité, enfin, la forme de force actuellement à la mode, demande généralement du charbon pour sa production. Ainsi, il ne nous reste actuellement à compter que sur la houille. Il y a donc un grand intérêt pour nous à savoir ce que nous en possédons, quel est notre stock disponible et ce que l'avenir nous présente à cet égard. Dans la lutte pour l'existence, il est certain que le charbon est un des principaux éléments; car de lui dépendent nos forces productives.

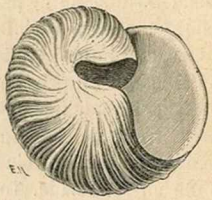


Fig. 5. — Mollusque fossile de la houille.

En examinant les relevés de la puissance des couches que possèdent la France et les pays limitrophes, nous pouvons estimer quelle sera la durée de la période pendant laquelle nous aurons le charbon à notre disposition, étant donnée la consommation annuelle. Mais il est un autre élément qu'il faut faire intervenir, c'est l'accroissement régulier de consommation, en raison du développement de l'industrie. C'est en tenant ou en ne tenant pas compte de cet élé-

ment dans leurs estimations que les calculateurs optimistes et les pessimistes (souvent pour un motif privé) sèment la terreur dans le monde industriel ou lui font voir l'avenir en rose. Nous croyons qu'il est un juste milieu. Il est probable que l'accroissement de la consommation de charbon sera continu, comme le développement de l'industrie; mais à mesure que s'étendra la civilisation et que le monde entier deviendra producteur industriel, la vieille Europe ne sera plus seule à fournir les produits manufacturés. Par conséquent, dans un temps plus ou moins éloigné, il se produira une sorte de régularisation de la puissance productive. Les diverses contrées fabriqueront les produits manufacturés selon leurs ressources naturelles, et la lutte s'établira sur l'économie de combustible pour arriver à l'économie du prix de revient, et non pas, comme le prétendent certains inventeurs d'appareils perfectionnés, parce qu'il n'y aura bientôt plus de charbon. Ce n'est pas à dire qu'il ne faille pas économiser le combustible quand même, car jusqu'ici la consommation a été un gaspillage. Tout d'abord, les houillères perdent environ 20 pour 100 du cube susceptible d'être extrait par suite des veines non complètement enlevées et des déchets divers. Cependant, aujourd'hui, comme nous le verrons plus loin, on cherche à réduire cette première perte en fabriquant des agglomérés avec des poussiers.

En second lieu, c'est l'utilisation même du combustible qui est défectueuse. Ainsi le rendement des foyers domestiques ne dépasse pas 13 pour 100 avec les cheminées ouvertes chauffées au charbon. Les foyers métallurgiques, les chaudières à vapeur n'utilisent également qu'une faible partie du combustible employé.

Aussi toutes les recherches faites pour augmenter le rendement des appareils sont-elles parfaitement justifiées.

Il n'est donc ni possible ni raisonnable de dire que la houille nous manquera dans cent ans ou mille ans. Il faut s'efforcer de mieux l'utiliser et se rendre un compte exact du stock que nous possédons.

Les gisements d'Europe sont les mieux connus, et des statistiques ont été assez rigoureusement établies en ce qui concerne la

puissance des couches, la production et la consommation. Nous allons les passer en revue.

La *Grande-Bretagne* posséderait environ 160 milliards de tonnes de charbon dans ses bassins houillers. Sa consommation annuelle dépasse 170 millions de tonnes. Le bassin le plus puissant est celui du sud du pays de Galles, où certaines parties contiennent 17 mètres d'épaisseur de houille à extraire. Un autre bassin, très important également, est celui sur lequel sont situées les villes de Manchester, Leeds, Liverpool et Newcastle. Enfin, l'Écosse renferme un grand nombre de bassins, mais de moindre étendue.

L'*Allemagne,* dans ses bassins de la Ruhr, la Saar, dans la Silésie et la Westphalie, contient environ 300 milliards de tonnes. La production annuelle est de 80 millions de tonnes. Mais l'Allemagne est moins bien placée que l'Angleterre pour l'exportation de ses houilles, à cause des grands parcours qu'il faut leur faire subir pour atteindre les ports d'embarquement; aussi cherche-t-elle à créer des canaux pour faciliter ces transports.

L'*Autriche* ne possède pas beaucoup de bassins houillers. Ceux de Bohême et de Moravie fournissent environ 7 millions de tonnes; elle a de bons lignites; on en a extrait, en 1884, 10 millions de tonnes. La Hongrie n'a pas de houillères; elle tire son charbon d'Allemagne.

En *Russie* existent de grands bassins; mais ils sont encore mal connus; les plus importants sont ceux du gouvernement de Charkow, de Moscou et de la Vistule. La Sibérie en contient également.

La *Belgique* produit annuellement 18 millions de tonnes. Les bassins de Mons, du Centre, de Charleroi, ont une superficie totale de 150 000 hectares. Les couches n'ont pas une grande épaisseur.

La *France,* malheureusement, n'a ni une grande superficie de terrains houillers, ni des couches épaisses, par conséquent avantageuses à exploiter. On estime cette superficie à 350 000 hectares. La production annuelle est de 24 millions de tonnes et l'importation d'environ 12 millions de tonnes.

L'*Espagne* produit 1 500 000 tonnes et en importe autant de

l'étranger. Cependant, dans les provinces du Nord existent des gisements puissants et d'exploitation facile, qui pourraient assurer sa consommation. La surface des bassins houillers est estimée à 140 000 hectares.

L'*Italie* importe environ 3 millions de tonnes et n'a que de faibles gisements ; mais elle possède des mines de lignite de bonne qualité.

Si nous passons aux autres parties du monde, nous trouvons des gisements d'une surface considérable dans l'*Amérique du Nord*. Les bassins européens ne sont que peu de chose, si on les compare à celui des Apalaches, qui s'étend sur la Pensylvanie, le Kentucky, la Virginie et le Tennessee; les bassins de l'Illinois, du Michigan, du Canada sont également très importants.

Enfin, nous savons que la *Chine* renferme de grandes richesses en houille, — environ, dit-on, trente fois la superficie des bassins de la Grande-Bretagne. Lorsque la Chine entrera enfin dans la voie du progrès moderne, ces richesses minérales enfouies depuis de longs siècles sortiront du sol et permettront malheureusement à l'industrie chinoise de faire concurrence à celle de la vieille Europe, dont les houillères seront peut-être épuisées. Il y a donc un immense intérêt pour nous à étudier les moyens de mieux utiliser le combustible que nous possédons, afin de l'économiser.

TABLEAU

DE L'ÉTENDUE ET DE LA PRODUCTION DES BASSINS HOUILLERS.

	SURFACE DES BASSINS.	PRODUCTION.
	Hectares.	Tonnes.
Grande-Bretagne	1 600 000	170 millions.
Allemagne	600 000	80 —
Autriche	120 000	17 —
France	350 000	24 —
Belgique	150 000	18 —
Espagne	140 000	1,5 —
Amérique du Nord	30 000 000	» —
Russie	»	» —

Classification géologique des houilles.

Au point de vue géologique, les combustibles fossiles doivent être divisés en trois classes très nettes : les lignites, les houilles proprement dites et l'anthracite.

Bien que ces trois combustibles soient également le résultat de la décomposition des fibres végétales, les époques de leurs formations et les positions successives et superposées de leurs gisements dans des terrains bien définis permettent, en dehors de leurs caractères chimiques particuliers, de les classer au point de vue géologique.

Il y a cependant des transitions entre ces divers combustibles; certaines houilles se rapprochent du lignite, d'autres de l'anthracite; mais on peut appeler lignites ceux des combustibles fossiles qui sont au-dessus de la craie; les houilles et l'anthracite sont antérieurs à la craie et situés au-dessous, c'est-à-dire que la houille et l'anthracite appartiennent aux terrains de transition et aux terrains secondaires, tandis que les lignites sont situés dans les terrains tertiaires.

La houille est généralement exploitée dans des gisements situés dans la partie supérieure des terrains de transition appelée la grande formation carbonifère et surtout dans le terrain auquel elle a donné son nom et qu'en géologie on appelle le terrain houiller. Au-dessous, ou plutôt dans la partie inférieure de la formation carbonifère, comme nous le voyons plus haut, se trouve l'anthracite, qui est de la houille très pure où le carbone est resté presque seul, sans doute, par suite de l'expulsion lente de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Cependant, on trouve quelquefois l'anthracite dans le terrain houiller proprement dit et même dans les terrains secondaires.

On remarque également que, plus les combustibles fossiles sont de formation ancienne, moins la texture des végétaux qui les constituent reste apparente, et dans les lignites, la texture fibreuse des troncs semble entièrement conservée.

Classification d'après la composition chimique et l'emploi.

Au point de vue industriel, la classification géologique ne suffirait pas en raison des variétés de houilles dont la nature est très diverse et qui ont des applications très différentes, selon les qualités.

En Angleterre, la classification est basée tout simplement sur la pratique ; on distingue :

Le charbon à gaz (gascoal) ;

Le charbon pour chauffage domestique (household coal) ;

Le charbon pour chauffage des chaudières à vapeur (steam coal).

Ces désignations n'indiquent nullement les propriétés des houilles, mais elles sont entrées dans la pratique, et les marchands de charbon entendent parfaitement ce qu'il faut fournir lorsque le public leur demande une houille pour un usage quelconque.

En France, la classification repose plutôt sur les propriétés physiques de la houille ; elle a une certaine relation avec la composition chimique.

On distingue les *houilles grasses* qui, mises dans un creuset à l'état de poudre fine, se prennent en masse homogène et subissent une sorte de fusion sous l'influence de la chaleur.

Les *houilles demi-grasses* dont la poudre chauffée se prend en masse sans entrer en fusion comme la houille grasse.

Enfin les *houilles sèches* ou *maigres* qui ne se prennent même pas en masse, et ne se collent pas lorsqu'on les chauffe. Quant aux lignites, ils présentent des différences très nettes avec la houille en dehors de l'aspect physique. A la distillation, les houilles donnent des vapeurs et des liquides contenant de l'ammoniaque, c'est-à-dire à réaction alcaline, tandis que les lignites produisent, comme le bois, des vapeurs d'acide acétique. Si l'on chauffe dans un tube de la poudre de lignite avec une dissolution de potasse, il se forme,

par suite de l'attaque du lignite, une solution brune d'humate de potasse, tandis que, dans ce cas, la houille reste inaltérée. Avec l'acide azotique, les houilles sont très peu altérées, tandis que le lignite est vivement attaqué et se transforme en une résine brun jaune. D'après Frémy, la houille et l'anthracite sont solubles dans un mélange d'acide azotique et d'acide sulfurique.

La classification française en houilles grasses, demi-grasses et maigres a des subdivisions permettant de passer d'une espèce à une autre selon les propriétés, car il existe des houilles intermédiaires. Ainsi certaines houilles maigres sont à longue flamme et certaines houilles grasses sont à courte flamme. Examinons les propriétés et les usages de chacune des trois classes :

1° Les *houilles grasses* s'agglutinent par la chaleur, comme nous l'avons vu plus haut, et sont facilement inflammables. Les houilles grasses sont particulièrement bonnes pour la fabrication du gaz; elles constituent, comme disent les Anglais, un charbon à gaz (gascoal); elles ont, en effet, une composition chimique où l'hydrogène tient une large part; par conséquent, cet hydrogène, se combinant avec le carbone lors de la distillation, donnera des hydrocarbures volatils qui constituent un gaz très éclairant.

En raison de leur fusion facile, elles seront excellentes pour la forge parce qu'elles forment, par leur agglutination, une voûte au-dessus de la pièce à chauffer qui se trouve en quelque sorte renfermée dans une espèce de four où se concentre la chaleur; elles sont donc houilles maréchales ou charbon de forge. Elles ne vaudront rien, au contraire, pour brûler sur une grille qu'elles obstruent par suite de leur agglutination; l'air ne passe plus à travers les morceaux et la combustion se ralentit. Elles ne seront donc pas bonnes pour les foyers domestiques ni pour le chauffage industriel sur grilles.

2° La *houille demi-grasse* a une couleur moins foncée que la houille grasse; sa cassure est généralement brillante; elle brûle aussi moins facilement. Elle est excellente sur les grilles domestiques et pour le chauffage des chaudières à vapeur. Elle est moins

avantageuse pour la fabrication du gaz parce qu'elle en produit peu, et parce que son coke s'agglomère mal et n'est pas volumineux.

3° La *houille maigre* ou *sèche* n'est utilisable que dans un nombre de cas beaucoup plus restreint; elle ne donne que de mauvais coke qui ne s'agglomère pas; elle est généralement moins pure à moins qu'elle ne soit anthraciteuse; mais alors, même dans ce cas, comme elle brûle difficilement, elle trouve peu d'emplois. Elle est utilisée pour certains fours dans l'industrie et dans les générateurs à gaz de chauffage.

Certaines houilles spéciales ne rentrent pas d'une façon absolue dans les trois classes que nous venons d'indiquer; ainsi le cannel coal (charbon chandelle des Anglais) brûle facilement et sa variété par excellence, le boghead coal, est un remarquable charbon à gaz, bien que son coke ne soit pas du coke proprement dit. Le cannel réduit en petits éclats s'allume comme une chandelle avec une allumette en donnant une flamme fuligineuse, le coke conserve la forme et le volume primitif et ne se ramollit pas par la chaleur.

L. Gruner a donné une méthode de classification des houilles dans laquelle leur composition permet de les placer dans cinq classes ou types généraux. Pour classer un charbon quelconque, on doit faire tout d'abord l'analyse immédiate, c'est-à-dire la détermination de la teneur en carbone, hydrogène, oxygène, puis évaluer le rendement en coke et enfin la teneur en cendres. Cette analyse donne par le calcul pour les houilles la puissance calorifique, c'est-à-dire la quantité de chaleur disponible dans l'unité de poids de houille. Nous indiquons, à la suite du tableau de la composition des houilles, les principales méthodes élémentaires et pratiques pour l'appréciation des charbons.

Un des éléments dont il y a toujours lieu de tenir compte est la teneur en cendres et en eau, qui, dans une houille, sont des non-valeurs; la proportion ou le rendement en coke et sa nature sont également à observer avec soin, surtout au point de vue de l'industrie du gaz.

Le tableau suivant, résultat moyen d'un grand nombre d'analyses, donne la classification générale des houilles d'après Gruner :

NOMS des TYPES OU CLASSES.	COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE.			RAPPORT de $\frac{O}{H}$.	PROPORTION de CHARBON fourni par la calcination.	NATURE et ASPECT DU CHARBON obtenu.
	C.	H.	O.			
Houilles sèches à longue flamme	75 à 80	5,5 à 4,5	19,5 à 15	4 à 3	0,50 à 0,60	Pulvérulent ou fritté.
Houilles grasses à longue flamme ou charbon à gaz	80 à 85	5,8 à 5	14,2 à 10	3 à 2	0,60 à 0,68	Fondu, mais très fendillé.
Houilles grasses proprement dites ou charbon de forge. .	84 à 89	5 à 5,5	11 à 5,5	2 à 1	0,68 à 0,74	Fondu, moyennement compact.
Houilles grasses à courte flamme ou charbon à coke. . .	88 à 91	5,5 à 4,5	6,5 à 5,5	1	0,74 à 0,82	Fondu, très compact, peu fendillé.
Houilles maigres, anthraciteuses, à courte flamme	90 à 93	4,5 à 4	5,5 à 3,5	1	0,82 à 0,90	Fritté ou pulvérulent.

Comme on le voit d'après les chiffres ci-dessus, l'élément principal de détermination des types est la proportion du carbone.

Dans le tableau suivant, nous indiquons plusieurs séries des principaux charbons utilisés en France et provenant de divers pays. Les houilles, dont nous donnons les compositions et les rendements, sont classées justement d'après la méthode de Gruner, mais ne donnent pas les charbons limites dont l'emploi est plus restreint.

TABLEAU DE LA COMPOSITION ET DU RENDEMENT

DÉSIGNATION DES CHARBONS.		CARACTÈRES PHYSIQUES ET COMPOSITION DU CHARBON.									
		POIDS DE L'HECTOLITRE de charbon.	FINES ET POUSSIER par 10,000 kilogrammes.	EAU HYGROMÉTRIQUE par 100 kilogrammes.	COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE Déduction faite des cendres					INCINÉRATION et calcination.		
					O.	H.	C.	Hydrogène en excès.	Soufre pour 100 dans le charbon.	Matières volatiles.	Coke.	Cendres.
Nord	Denain, fosse Saint-Marc	92,500	579	2,20	4,97	4,19	90,24	3,57	0,87	16,40	83,6	10,30
	— Thiers	94,000	635	3,40	4,36	4,16	90,86	3,63	0,68	16,00	84,0	10,50
	Moyenne	93,250	607	2,80	4,66	4,18	90,55	3,60	0,77	16,20	83,8	10,40
Charbons allemands	New Coln (Kœnig Wilhelm)	89,330	642	2,27	5,29	4,92	89,19	4,26	1,09	24,00	76,00	6,00
	Kœnig Wilhelm (Christian Levin)	88,880	639	2,10	6,10	4,56	88,74	3,79	1,03	22,00	78,00	7,25
	Herné Bochum (Puits Prœsident)	90,670	475	2,20	5,05	4,81	89,54	4,18	0,93	22,50	77,50	6,50
	Herné Bochum (Puits Providence)	88,110	455	1,94	4,57	5,08	89,75	4,50	1,33	24,75	75,25	4,55
	Herné Bochum (Puits Barillon)	86,000	625	2,58	7,30	5,19	86,91	4,28	1,57	27,50	72,50	7,00
Charbons belges	Ouest de Mons Bellevue	87,897	426	1,60	6,70	4,68	88,02	3,85	0,60	20,00	80,00	5,37
	Agrappe	87,000	281	2,90	5,38	4,84	89,18	4,17	0,14	22,00	78,00	4,35
	Escouffiaux	85,979	308	1,83	5,61	5,23	88,56	4,58	0,77	26,74	73,26	12,64
	Seize Actions	82,905	263	2,09	6,32	5,27	87,80	4,48	0,67	28,63	71,37	7,56
Pas-de-Calais	Dourges	89,152	389	2,40	5,80	5,02	88,58	4,29	0,96	27,32	72,68	8,91
	Nœux, fosse n° 2	93,000	443	1,36	5,46	5,11	88,83	4,43	1,59	27,00	73,00	9,00
	Moyenne	88,083	449	2,11	5,78	4,97	88,65	4,26	0,97	24,76	75,24	7,19
Charbons anglais	Washington	86,554	627	1,91	7,75	5,26	86.39	4,30	1,37	29,00	71,00	6,12
	West-Pelaw main	82,406	387	3,00	6,86	5,34	87,20	4,48	1,63	31,76	68,24	4,55
	West-Leverson	81,625	485	2,66	6,89	5,41	87,10	4,55	1,16	32,44	67,56	3,50
Pas-de-Calais	Lens	83,736	457	2,77	6,72	5,34	87,34	4,50	0,72	31,74	68,26	6,37
	Ferfay	85,373	498	4,56	7,26	5,21	86,92	4,30	0,67	29,32	70,68	11,85
Charbons belges	Grand Buisson	84,833	454	1,60	7,14	5,44	86,82	4,54	0,50	30,33	69,67	9,20
	Ouest de Mons	87,568	402	3,15	7,59	5,31	86,49	4,37	0,42	29,90	70,10	13,67
	Moyenne	84,558	473	2,81	7,17	5.33	86,89	4,43	0,92	30,64	69,36	7,75

DES CHARBONS EMPLOYÉS EN FRANCE.

GAZ.								COKE.				CONDENSATIONS.			
RENDEMENT.		Pouvoir éclairant.	RENDEMENT ramené à 105 litres.		DENSITÉ.		Acide carbonique pour 100 en volume.	Rendement en hectolitres par 100 kilogrammes de charbon.	Poids de l'hectolitre de coke éteint à l'étouffoir.	Poussier par 100 kilogrammes du poids du coke.	Cendres pour 100 kilogrammes du poids du coke.	GOUDRON.		EAU.	
Par 100 kilog. charbon tout venant.	Par 100 kilog. charbon par.		Par 100 kilog. charbon tout venant.	Par 100 kilog. charbon par.	Brute.	Déduction faite de l'acide carbonique.						Par 100 kilog. de charbon tout venant.	Par 100 kilog de charbon par.	Par 100 kilog. de charbon tout venant.	Par 100 kilog. de charbon par.
24,33	26,9	180	13,00	14,5	0,286	0,270	1,21	1,626	41,43	29,41	13,32	2,11	2,34	4,07	4,54
23,10	28,8	176,2	13,71	15,3	0,290	0,273	1,30	1,032	40,00	73,00	12,50	2,43	2,71	4,17	4,65
23,71	27,8	178,1	13,35	14,9	0,288	0,272	1,25	1,329	40,714	51,20	12,91	2,27	2,52	4,12	4,59
29,280	31,1	149,6	20,550	21,9	0,349	0,325	1,91	2,104	»	9,54	7,89	3,36	3,58	4,16	4,42
27,630	29,7	177,8	16,320	17,6	0,342	0,320	1,73	2,113	34,46	11,42	9,29	2,81	3,03	4,09	4,41
30,080	32,11	167,3	18,880	20,2	0,322	0,307	1,18	1,978	36,38	10,71	8,64	3,09	3,30	3,64	3,89
30,010	31,4	145,6	21,640	22,7	0,332	0,314	1,42	2,169	34,40	10,44	6,04	3,22	3,37	3,58	3,95
28,640	30,08	132,9	22,630	24,3	0,363	0,344	1,53	1,979	35,45	10,96	9,65	3,46	3,72	4,41	4,74
26,758	30,00	161,1	18,760	19,2	0,331	0,311	1,56	2,070	35,93	11,78	6,28	2,48	2,56	3,13	3,41
26,960	28,2	132,3	21,390	22,4	0,344	0,327	1,31	2,112	37,17	10,93	5,57	2,18	2,28	3,70	3,86
28,621	33,3	120,2	24,980	25,8	0,371	0,351	1,40	1,895	36,25	13,52	12,12	4,59	5,02	3,73	4,08
30,212	33,5	124,2	25,370	27,0	0,362	0,341	1,71	1,979	35,51	10,53	10,14	4,06	4,44	3,88	4,18
28,846	32,4	128,05	28,810	30,0	0,379	0,349	2,33	1,967	36,27	11,07	11,22	4,20	4,35	3,49	3,79
28,190	31,0	131,60	22,490	24,7	0,365	0,334	2,38	1,917	37,45	11,09	12,33	3,66	4,03	3,85	4,23
28,838	31,16	142,79	21,547	23,2	0,351	0,329	1,64	2,026	35,92	11,09	9,19	3,32	3,60	3,88	4,08
31,080	32,7	119,4	27,360	28,8	0,372	0,355	1,44	2,216	32,650	9,42	7,21	3,98	4,19	4,27	4,50
30,741	32,7	111,4	28,859	30,8	0,360	0,346	1,41	1,886	35,870	9,39	5,78	5,29	5,40	4,72	5,01
31,075	»	108,25	30,171	»	0,400	0,381	1,69	1,924	35,151	7,68	»	5,59	»	4,84	»
31,040	34,0	113,53	28,711	31,0	0,389	0,369	2,05	1,736	32,261	9,39	9,45	4,94	5,13	4,57	5,10
27,359	30,9	114,83	24,970	28,3	»	»	2,10	2,150	38,940	13,17	21,50	4,46	4,85	6,63	7,53
30,468	»	105,90	30,212	»	0,390	0,390	1,87	2,020	35,062	7,56	»	5,03	»	4,08	»
28,270	33,2	108,10	27,465	30,7	0,374	0,374	2,00	1,789	37,834	11,40	16,17	4,83	5,07	5,72	6,01
30,004	»	111,70	28,249	»	0,388	0,369	1,79	1,960	35,395	9,71	12,06	4,87	4,92	4,97	5,63

TABLEAU DE LA COMPOSITION ET DU RENDEMENT

DÉSIGNATION DES CHARBONS.		CARACTÈRES PHYSIQUES ET COMPOSITION DU CHARBON.										
		POIDS DE L'HECTOLITRE de charbon.	FINES ET POUSSIER par 10,000 kilogrammes.	EAU HYGROMÉTRIQUE par 100 kilogrammes.	COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE Déduction faite des cendres					INCINÉRATION et calcination.		
					O.	H.	C.	Hydrogène en excès.	Soufre pour 100 dans le charbon.	Matières volatiles.	Coke.	Cendres.
Bassin de la Rühr.	Hibernia	83,170	384	4,20	8,09	5,54	85,76	4,52	0,87	29,90	70,10	9,70
	Dalbusch	83,727	460	5,27	8,82	5,59	85,08	4,40	0,93	30,28	69,72	7,16
	Alma	82,553	411	4,38	8,58	5,38	85,44	4,37	0,97	31,12	68,88	6,75
	Consolidation	84,458	395	5,40	7,82	5,39	86,18	4,42	0,78	29,79	70,21	8,79
	Wilhelmine Victoria	85,850	282	4,99	8,44	5,48	85,47	4,43	0,74	30,50	69,50	10,50
Charbons belges	Produits (veine de la Pierre)	85,500	186	1,87	7,21	5,41	86,78	4,51	0,56	32,00	68,00	6,25
	Produits (Sainte-Henriette, criblé)	83,727	310	2,65	7,56	5,50	86,33	4,55	0,57	31,43	68,57	8,78
	Produits Saint-Louis	83,492	421	3,40	8,43	5,53	85,44	4,48	0,57	30,35	69,65	14,05
Charbon anglais. — Londonderry		83,734	464	2,47	8,87	5,57	84,96	4,37	1,82	35,48	64,52	4,90
Pas-de-Calais	Nœux, fosse n° 4	86,185	428	3,25	7,54	5,67	86,18	4,73	1,33	32,18	67,82	9,11
	Liévin	85,490	451	2,94	7,68	5,52	86,33	4,56	0,41	33,34	66,66	8,98
Charbons français du centre.	Decize	87,250	257	3,52	8,77	5,82	84,82	4,52	1,35	35,53	64,47	12,22
	Malafolie	87,362	493	4,29	8,93	5,49	84,98	4,38	0,86	33,08	66,92	9,16
Sarrebruck. — Dudweiler		81,043	164	2,64	8,63	5,50	85,27	4,42	1,10	34,06	65,94	7,38
Moyenne		84,516	373	3,65	8,24	5,52	85,64	4,49	0,91	31,95	68,05	9,25
Sarrebruck.	Heinitz	81,500	153	2,88	9,86	5,62	83,92	4,38	0,65	35,12	64,88	5,75
	Alten-Wald	86,020	291	3,08	9,80	5,14	84,46	3,91	0,94	31,87	68,13	14,12
Pas-de-Calais.	Bruay	84,185	413	4,29	10,40	5,44	83,56	4,14	1,02	35,75	64,25	9,35
	Marles	85,605	403	4,05	10,19	5,55	83.65	4,28	1,05	33,91	66,09	12,49
Centre de la France. — Commentry		82,640	483	5,81	10,18	5,66	83,31	4,39	1,74	35,97	64,03	9,98
Moyenne		83,990	379	4,02	10,09	5,48	83,78	4,22	1,08	34,52	65,48	10,34
Charbons français du centre.	Blanzy	82,258	473	5,05	11,43	5,70	82,26	4,27	1,06	36,39	63,61	10,03
	Decazeville	82,280	685	7,71	12,58	5,62	81,20	4,05	1,70	35,43	64,57	12,24
	Saint-Éloi	91,800	276	6,53	13,65	5,58	80,17	3,87	1,23	35,75	64,25	15,75
	Saint-Berain-sur-Dhune	85,150	676	5,11	13,00	5,42	80,87	3,80	1,04	35,15	64,85	17,15
	Sarre et Moselle	90,500	305	6,14	12,00	5,67	80,83	4,07	1,00	36,65	63,35	19,35
Moyenne		86,398	483	»	12,53	5,58	81,07	4,01	1,21	35,87	64,13	14,90

DES CHARBONS EMPLOYÉS EN FRANCE. (*Suite.*)

GAZ.								COKE.				CONDENSATIONS.			
RENDEMENT.		Pouvoir éclairant.	RENDEMENT ramené à 105 litres.		DENSITÉ.		Acide carbonique pour 100 en volume.	Rendement en hectolitres par 100 kilogrammes de charbon.	Poids de l'hectolitre de coke éteint à l'étouffoir.	Pousser par 100 kilogrammes du poids du coke.	Cendres pour 100 kilogrammes du poids du coke.	GOUDRON.		EAU.	
Par 100 kilog. charbon tout venant.	Par 100 kilog. charbon pur.		Par 100 kilog. charbon tout venant.	Par 100 kilog. charbon pur.	Brute.	Déduction faite de l'acide carbonique.						Par 100 kilog. de charbon tout venant.	Par 100 kilog. de charbon pur.	Par 100 kilog. de charbon tout venant.	Par 100 kilog. de charbon pur.
29,475	32,5	104,67	29,640	30,6	0,393	0,374	1,66	1,738	37,177	13,83	14,62	4,94	5,60	6,40	7,26
29,851	32,1	104,76	29,919	32,0	0,393	0,377	1,56	1,731	37,680	12,70	9,17	5,03	6,75	7,19	7,21
30,178	31,7	103,58	30,626	32,2	0,392	0,372	1,52	1,798	36,559	10,05	8,30	5,04	5,57	7,12	8,13
29,305	32,5	106,69	28,791	32,5	0,396	0,378	1,55	1,775	36,582	11,58	11,75	5,06	6,10	7,03	7,34
29,660	33,0	106,40	29,360	32,7	0,405	0,379	2,22	1,627	38,060	15,70	14,60	4,67	5,20	6,39	7,11
31,570	33,6	105,50	31,420	32,5	0,391	0,378	1,63	1,731	36,570	12,90	9,19	5,60	5,97	4,17	4,45
30,293	33,1	103,70	30,679	33,7	0,399	0,378	1,85	1,887	35,775	13,89	13,06	5,04	5,49	5,26	5,90
27,951	32,9	104,22	28,272	32,4	0,405	0,383	1,69	1,828	36,056	9,81	21,01	5,16	5,74	5,78	8,02
31,100	33,5	104,87	31,169	33,4	0,400	0,381	1,76	1,897	34,771	12,68	8,08	5,86	6,01	5,19	5,37
31,347	34,5	108,00	30,499	33,9	0,410	0,381	2,47	1,764	35,358	11,37	12,88	5,16	5,66	5,85	6,41
29,656	31,3	108,37	28,728	32,5	0,432	0,406	2,59	1,798	34,697	14,04	13,68	4,94	5,49	5,42	5,82
26,128	33,4	99,47	29,660	35,2	0,448	0,422	»	1,762	37,165	13,49	14,57	5,81	6,36	7,50	7,52
27,430	30,2	106,37	27,080	29,7	0,428	0,393	»	1,783	34,887	»	13,56	5,37	5,71	7,03	8,07
30,049	32,8	101,60	31,066	33,9	0,431	0,400	2,70	1,667	38,918	12,53	11,74	5,78	6,00	6,21	6,61
29,427	»	104,97	29,617	»	0,409	0,386	2,03	1,779	35,316	12,64	12,58	5,23	5,83	6,16	6,80
29,984	31,8	95,40	33,001	35,0	0,438	0,412	2,18	1,682	37,450	13,40	8,86	6,16	6,53	7,00	7,41
26,927	29,6	95,90	29,441	32,7	0,451	0,420	2,72	1,649	38,303	18,97	28,82	5,54	6,66	6,69	8,75
29,302	33,7	110,67	27,813	33,1	0,453	0,421	3,35	1,753	36,671	15,68	17,69	5,58	7,00	7,73	9,29
29,210	31,1	102,17	30,045	32,4	0,450	4,421	3,47	1,585	37,910	19,17	21,89	5,84	6,33	7,03	8,62
28,993	31,5	103,60	29,393	31,1	0,441	0,408	2,85	1,651	37,280	12,48	16,14	5,60	6,31	8,20	9,54
28,883	»	101,54	29,939	»	0,449	0,416	3,10	1,664	37,523	15,94	18,68	5,74	6,56	7,33	8,72
28,774	31,3	107,63	28,166	31,7	0,472	0,435	3,53	1,696	34,87	22,05	11,77	5,26	6,38	8,20	9,80
24,680	29,0	103,39	25,089	29,0	0,463	0,420	3,75	1,691	35,63	20,92	17,32	5,18	5,43	10,87	11,79
25,220	30,0	107,30	24,680	29,3	0,481	0,436	4,02	1,593	37,44	19,79	24,51	5,68	6,74	9,49	11,26
25,680	31,0	139,90	19,270	23,2	0,483	0,431	4,72	0,674	40,48	100,00	26,44	3,78	4,56	8,19	9,88
26,090	32,3	102,60	26,700	33,1	0,551	0,489	5,94	1,170	35,94	54,72	30,54	5,12	6,35	8,58	10,64
26,089	»	112,16	24,781	»	0,490	0,442	4,39	1,361	36,872	43,50	22,01	5,00	5,89	9,07	10,67

On voit que le tableau ci-dessus classe les houilles surtout d'après leur composition chimique, et permet la comparaison de leurs qualités au point de vue du rendement du gaz ; à ce titre, il y aurait lieu d'ajouter le charbon boghead, qui donne à la distillation jusqu'à 35 mètres cubes de gaz, le boghead Russel, allant même jusqu'à 40 mètres cubes par 100 kilogrammes ; en revanche, le coke n'a que peu de valeur, brûle mal et laisse beaucoup de cendres. La proportion d'hydrogène est très élevée par rapport au carbone contenu ; aussi les produits de distillation contiennent-ils beaucoup d'hydrocarbures, qui augmentent le pouvoir éclairant du gaz et donnent des goudrons légers.

Au point de vue des emplois pour le chauffage, un élément fort important est la puissance calorifique, c'est-à-dire la quantité de chaleur que dégage, en se brûlant complètement, l'unité de poids ou 1 kilogramme du combustible examiné. La puissance calorifique est une valeur théorique, mais qui donne les relations exactes entre les combustibles, en vue des moyens d'utiliser la chaleur développée. Une relation pratique est la puissance de vaporisation, c'est-à-dire la quantité d'eau que 1 kilogramme de charbon peut vaporiser. Nous passerons plus loin en revue, d'une façon sommaire, les méthodes pratiques d'appréciation de ces diverses valeurs relatives. La puissance calorifique théorique peut s'établir par le calcul d'après l'analyse élémentaire des combustibles.

Nous donnons ci-après un tableau contenant, d'après Regnault, la composition de quelques combustibles ; nous avons ajouté la puissance calorifique de ces combustibles en prenant 8080 pour la puissance calorifique du carbone et 34462 pour celle de l'hydrogène.

On peut également établir par le calcul un autre élément important en industrie : la température de combustion, c'est-à-dire l'échauffement thermométrique maximum qu'un combustible peut produire. La combustion se produisant par la combinaison chimique des éléments d'un combustible avec l'air, le résultat sera de l'eau, de l'acide carbonique et de l'azote.

TABLEAU DE LA COMPOSITION DE COMBUSTIBLES MINÉRAUX

D'APRÈS LES ANALYSES DE M. REGNAULT.

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.		DENSITÉ.	NATURE DU COKE.	COKE DONNÉ PAR LA CALCINATION.	COMPOSITION. CARBONE.	HYDROGÈNE.	OXYGÈNE ET AZOTE.	CENDRES.	HYDROGÈNE EN EXCÈS.	PUISSANCE CALORIFIQUE.
Combustibles de la formation carbonifère.										
Anthracites	Pensylvanie	1,462	Pulvérulent.	81,83	90,45	2,43	2,45	4 67	2,12	8039
	Pays de Galles	1,348	—	89,72	92,56	3,33	2,53	1,58	3,01	8516
	Mayenne	1,367	—	89,96	91,98	3,92	3,16	0,94	3,52	8645
	Rolduc (Prusse)	1,343	—	86,96	91,45	4,18	2,12	2,25	3,91	8737
Houilles grasses et dures.	Alais (Rochebelle)	1,322	Boursouflé.	76,29	89,27	4,85	4,47	1,41	4,29	8691
	Rive-de-Gier (P. Henry)	1,315	—	73,34	87,85	4,90	4,29	2,96	4,36	8601
Houilles grasses maréchales.	Rive-de-Gier 1	1,298	Très boursouflé.	66,72	87,45	5,14	5,63	1,78	4,44	8596
	(Grand'Croix 2	1,302	—	68,36	87,79	4,86	5,91	1,44	4,12	8513
	Newcastle (Richardson)	1,280	—	»	87,95	5,24	5,41	1,40	4,56	8678
Houilles grasses à longues flammes.	Flénu de Mons 1	1,276	—	»	84,67	5,29	7,94	2,10	4,30	8323
	— 2	1,292	—	»	83,87	5,12	7,03	3,68	4,54	8341
	Rive-de-Gier (cimetière) 1	1,288	—	67,33	82,04	5,27	9,12	3,57	4,13	8052
	— — 2	1,291	—	66,11	84,83	5,61	6,57	2,99	4,79	8505
	— (Couzon) 1	1,292	—	61,88	82,58	5,59	9,11	2,72	4,45	8206
	— — 2	1,311	—	60,28	81,71	4,90	7,98	5,32	3,99	7977
	Lavaysse (Aveyron)	1,284	—	52,77	82,12	5,27	7,48	5,13	4,33	8128
	Lancashire (Cannel-coal)	1,317	—	55,35	83,75	5,66	8,01	2,55	4,65	8369
	Épinac	1,353	—	59,97	81,12	5,10	11,25	2,53	3,69	7826
	Commentry	1,319	—	63,16	82,72	5,29	11,75	0.24	3,82	8000
Houilles sèches à longues flammes. — Blanzy		1,362	Fritté.	54,72	76,48	5,23	16,01	0,28	3,23	7293
Combustibles des terrains secondaires.										
Anthracites	Lamure (Isère)	1,362	Pulvérulent.	89,5	89,77	1,67	3,99	4,57	1,17	7657
	Macot (Tarentaise)	1,919	—	88,9	71,49	0,92	1,12	26,47	0,78	6045
Houilles	Obernkirchen (Westphalie)	1,279	Très boursouflé.	77,8	89,50	4,83	4,67	1,00	4,25	8696
	Céral (Aveyron)	1,291	Fritté.	53,3	75,38	4,74	9,02	1,86	3,61	7335
	Noroy	1,410	Pulvérulent.	51,2	63,28	4,35	13,17	19,20	2,70	6043
Jayet	Saint-Girons (Ariège)	1,316	Fritté.	42,5	72,94	5,45	17,53	4,08	3,26	7017
	Belertat	1,305	—	42,0	75,41	5,79	17,91	0,89	3,55	7317
Combustibles des terrains tertiaires.										
Lignite parfait.	Dax	1,272	Pulvérulent.	49,1	70,49	5,59	18,93	4,99	3,22	8805
	Bouches-du-Rhône	1,254	—	41,1	63,88	4,58	11,16	13,43	2,32	5961
	Mont-Meisner (Hesse-Cassel)	1,351	—	18,5	71,71	4,85	21,67	1,77	2,14	6532
	Basses-Alpes	1,276	—	49,5	70,02	5,20	21,77	3,01	2,48	6512
Lignite imparfait.	Alphée (Grèce)	1,185	Analogue au charbon de bois.	38,9	61,20	5,00	21,78	9,02	1,90	5500
	Cologne	1,100		36,1	63,29	4,98	26,24	5,19	1,70	5700
	Usnach (bois fossile)	1,167		»	56,04	5,70	36,07	2,19	1.19	4938
Lignite passant au bitume.	Ellebogen (Bohême)	1,157	Boursouflé.	27,4	73,79	7,46	13,79	4,96	5,74	7940
	Cuba	1,197	—	39,0	75,85	7.25	12,96	3 94	5,63	8069
Asphalte. — Mexique		1,063	—	9,0	79,18	9,30	8,72	2,80	8,21	9227
Combustibles de formation contemporaine.										
Tourbes	Vulcaire				55,25	5,63	32,51	5,58	1,57	5086
	Long				57,29	5,93	32,17	4,61	1,91	5287
	Champ-du-Feu				57,00	6,11	31,56	5,33	2,17	5 52
Combustibles végétaux.										
Bois. — Composition moyenne					49,60	5,80	42,56	2,04	0,48	4162

Or 1 kilogramme de carbone exige $2^k,666$ d'oxygène pour se transformer en acide carbonique; ces $2^k,666$ d'oxygène seront fournis par $11^k,59$ d'air atmosphérique, et 1 kilogramme d'hydrogène à son tour exige 8 kilogrammes d'oxygène fournis par $34^k,77$ d'air pour former de l'eau. Avant d'établir le calcul, on devra avoir soin de déduire du poids de l'hydrogène celui qui est nécessaire pour la quantité d'oxygène contenu dans le combustible, c'est-à-dire 1/8. La quantité d'hydrogène restante, désignée sous le nom d'hydrogène en excès, et qui se trouve toute calculée dans la table suivante, concourt à l'estimation de la puissance calorifique. Ainsi, par exemple, en prenant la houille d'Épinac, houille grasse à longue flamme contenant 81,12 de carbone et 3,69 d'hydrogène en excès, on a

$$0,8112 \times 8080 + 0,0369 \times 34462 = 7826 \text{ calories}$$

dégagées par le kilogramme ou puissance calorifique.

Pour avoir la température de combustion, comme on a la quantité en poids de chacun des produits de la combustion pour un kilogramme de combustible d'après les considérations indiquées ci-dessus, et que l'on connaît la *chaleur spécifique* ou quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré la température du kilogramme de chacun d'eux, il suffira de diviser le nombre de calories résultant de la combustion, par l'ensemble des chaleurs spécifiques des produits de cette combustion.

Ainsi quelle sera la température de combustion fournie par la houille d'Épinac ci-dessus ?

1 kilogramme de cette houille contenant 0,8112 de carbone prendra $2^k,162$ d'oxygène fournis par $9^k,401$ d'air, et produira $2^k,973$ d'acide carbonique, dont la chaleur spécifique est 0,221, de sorte que la quantité de chaleur nécessaire pour l'élever de 1 degré sera $2,973 \times 0,221 = 0,6570$.

Les $0^k,0369$ d'hydrogène en excès prendront $0^k,2952$ d'oxygène fournis par $1^k,283$ d'air pour former $0^k,332$ d'eau, auxquels il

faut ajouter les 0,126 d'eau provenant de l'oxygène du charbon. La quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré la température de cette eau s'obtient en multipliant son poids par 0,475, chaleur spécifique de la vapeur d'eau. On trouve ainsi 0,2175.

L'air fourni pour la combustion, soit

$$9^k,401 + 1,283 = 10^k,684,$$

contient 77 pour 100 d'azote, soit $10,684 \times 0,77 = 8^k,226$ d'azote, dont la chaleur spécifique est 0,273, ce qui donne pour l'azote 2,245.

La chaleur des cendres et de l'acide carbonique de l'air peut être négligée de sorte qu'en additionnant $0,657 + 0,217 + 2,245$, on trouve 3,119 calories, ce qui représente la quantité de chaleur pour que tous les produits de la combustion du kilogramme de houille d'Épinac s'élèvent en température de 1 degré. La chaleur produite par cette combustion étant de 7826 calories, la température de combustion sera de

$$\frac{7826}{3,119} = 2510 \text{ degrés environ.}$$

En pratique, il y a toujours un excès d'air; ce calcul, purement théorique, peut cependant servir très utilement comme terme de comparaison.

Ainsi qu'on peut le voir par les deux tableaux qui précèdent, le choix du charbon employé est fort important, en raison des applications auxquelles on le destine. La puissance calorifique, le rendement en gaz et la quantité de ce dernier, la nature et la quantité du coke obtenu, dépendent de la composition du combustible. L'industriel appelé à acheter des charbons devra donc tenir compte de ces éléments.

L'apparence d'une houille ou plutôt ses propriétés physiques sont déjà un indice important, mais absolument insuffisant pour indiquer la valeur réelle.

En général, d'après Wagner, ou plutôt comme moyenne, les diverses natures de houille donnent les résultats suivants :

COMPOSITION.	ANTHRACITE.	HOUILLE GRASSE.	HOUILLE DEMI-GRASSE.	HOUILLE MAIGRE.
Carbone	83	78	75	69
Hydrogène	3	4	4	4
Eau chimiquement combinée	2	8	11	18
Eau hygroscopique	5	5	5	5
Cendres	5	5	5	5
Effet calorifique.				
Absolu	0,96	0,93	0,89	0,79
Spécifique	1,44	1,17	1,16	1,06
Pyrométrique	2350°	2300°	2250°	2100°
Une partie réduit : plomb	26 à 33	23 à 31	19 à 27	21 à 31
Une partie échauffe de 0° à 100° : eau	60,5 à 74,7	52,8 à 72	44 à 61,6	50 à 71
Poids spécifique	1,41	1,13 à 1,26	1,13 à 1,30	2,05 à 1,34

Dans la pratique, on admet, dit également Wagner, que le pouvoir calorifique d'une bonne houille se rapproche de celui du charbon de bois, et qu'il surpasse du double environ celui du bois sec. Dans les opérations de fusion, la puissance calorifique des houilles est à celle du bois comme 5 est à 1, à volumes égaux, et comme 15 est à 8, à poids égaux.

D'après les expériences de Karsten, dans les fours à flamme, l'action de 100 volumes de houille égale celle de 700 volumes de bois, celle de 100 parties en poids égale celle de 250 parties en poids de bois.

Lorsqu'il s'agit de chauffer des liquides :

100 volumes de houille = 400 volumes de bois = 400 volumes de tourbe.
100 p. en poids de houille = 160 p. en poids de bois = 250 p. en poids de tourbe.

Méthodes d'analyse. — Pyrométrie.

Les divers éléments constitutifs et les propriétés physiques de la houille devront être connus par l'industriel qui en fait usage; dans beaucoup de cas, la connaissance de certains de ces éléments ou de leurs proportions sont de la plus haute importance.

Nous allons passer en revue quelques-uns des moyens employés pour les déterminer. Nous ne pouvons entrer ici dans la discussion des différentes méthodes; cependant, en raison de l'intérêt qui s'attache à ce sujet, nous croyons devoir donner quelques détails utiles.

Comme nous ne pouvons exposer ici une étude complète des méthodes suivies, nous sommes obligés de renvoyer aux ouvrages spéciaux d'analyse chimique. Considérant surtout le côté pratique de l'examen des houilles, nous allons indiquer les procédés pour déterminer : le poids spécifique, l'eau hygrométrique, la teneur en cendres, la teneur en soufre, le rendement en gaz, le rendement en coke et la puissance calorifique.

Poids spécifique. — Par poids spécifique on doit comprendre le poids de l'unité de volume, et par poids spécifique absolu le poids de l'unité de volume, vides déduits, c'est-à-dire le poids du combustible massif. Pour déterminer ce dernier, on pèse un morceau de la houille sur une balance; on note le poids. On suspend ensuite ce morceau de houille au-dessous d'un des plateaux de la balance, au moyen d'un fil ténu, en ayant soin que le morceau de houille plonge dans un vase plein d'eau distillée, et l'on rétablit l'équilibre de la balance avec des poids que l'on note comme ci-dessus. La différence des poids obtenus donne le poids du volume d'eau déplacé, c'est-à-dire le volume de la houille examinée; en divisant le poids dans l'air par le poids du volume d'eau déplacé, on a le poids spécifique. Il y aurait lieu d'établir la correction relative à la température de l'eau, qui, pour que le résultat fût exact, devrait être à 4°; mais cette différence est généralement négligeable, et du reste

le poids spécifique absolu a une moins grande importance dans la pratique que le poids d'une autre unité de volume plus courante : l'hectolitre. En effet, la houille se vend à l'hectolitre ou au poids; la valeur relative du poids de l'hectolitre a donc une importance plus générale; pour l'obtenir, il suffit de remplir jusqu'au bord, sans tassement, une mesure d'un hectolitre dont le poids est connu, et, prenant le poids du tout sur une balance, on a le poids de l'hectolitre, en déduisant la tare, c'est-à-dire le poids de l'instrument de mesurage.

Dans notre premier tableau, nous donnons les poids de l'hectolitre des charbons examinés, et nous pouvons constater que ces poids varient de 81 à 90 kilogrammes, tandis que, dans le second tableau des houilles, nous donnons les poids spécifiques absolus, le charbon étant considéré comme bloc plein. Nous pouvons constater également que l'hectolitre pèserait de 120 à 190 kilogrammes; mais, comme nous le disons plus haut, cette manière de compter n'est pas usitée dans la pratique.

Eau hygrométrique. — Pour déterminer la quantité d'eau hygrométrique contenue dans une houille, il suffira d'en prendre un poids quelconque, soit 100 grammes, et après les avoir finement pulvérisés de les exposer pendant trois ou quatre heures à une température d'environ 100 degrés. Il faut avoir soin de ne pas dépasser cette température, parce qu'au delà certains combustibles commencent à laisser dégager des carbures d'hydrogène. On devra, par deux pesées successives, s'assurer que la dessiccation est terminée; pour certains lignites, et notamment pour la tourbe, qui peut contenir jusqu'à 25 pour 100 d'eau, il faut prolonger longtemps la dessiccation. La houille pulvérisée et séchée à l'air ne contient généralement pas plus de 3 à 3,5 pour 100 d'eau. La perte de poids pendant le séchage représente la quantité d'eau hygrométrique contenue dans la houille.

Teneur en soufre. — Comme nous l'avons vu dans notre premier tableau, certaines houilles peuvent contenir jusqu'à 1,74 de soufre.

Il est fort important dans beaucoup d'industries, comme la fabrication du gaz et la métallurgie, de connaître cette quantité de soufre.

La méthode d'Eschka est exacte et suffisamment pratique. On mélange 1 gramme de la houille finement pulvérisée avec 1 gramme de magnésie calcinée et $0^{gr},5$ de carbonate de soude effleuri; on verse dans un creuset de platine, que l'on incline légèrement et dont on maintient le fond chauffé au rouge, pendant environ une heure. Le mélange, gris d'abord, devient jaune brun; l'opération est alors terminée.

On ajoute 1 gramme de nitrate d'ammoniaque, que l'on mélange avec la masse au moyen d'un fil de platine; puis on chauffe pendant dix minutes. Lorsque le mélange est refroidi, on délaye dans l'eau bouillante et on filtre; on lave le filtre avec un peu d'eau bouillante. Le liquide filtré est acidifié par quelques gouttes d'acide chlorhydrique; on le porte à l'ébullition et on y verse du chlorure de baryum jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de précipité blanc de sulfate de baryte. On jette le liquide sur un filtre avec son précipité, on lave avec de l'eau bouillante sur le filtre, on sèche le filtre, on le calcine; le poids de sulfate de baryte trouvé donne le poids du soufre contenu, sachant que 1 gramme de sulfate de baryte contient $0^{gr},137$ de soufre.

Teneur en cendres. — La quantité de cendres contenues dans la houille est excessivement variable, et, dans la pratique, dépend beaucoup de la manière dont la combustion est conduite, parce que l'on comprend généralement, avec les cendres retirées d'un foyer, les scories, le mâchefer et des particules de charbon incomplètement brûlé. Aussi serait-il difficile, sans prendre des précautions spéciales, de se baser sur le résultat obtenu dans la pratique pour l'estimation de la teneur en cendres. Les résultats, d'un foyer à un autre, ne seraient pas comparables.

La méthode d'analyse, au contraire, permet de constater souvent que la combustion se produit dans de mauvaises conditions, puisque l'on obtient plus de cendres que celles qui sont réellement contenues dans le charbon.

Pour déterminer la teneur en cendres, on pulvérise finement du charbon, on en pèse 10 grammes que l'on met dans une capsule de platine. On place ensuite cette capsule dans un fourneau à moufle chauffé au charbon de bois et mieux au gaz. (Voy. fig. 88.) Il faut avoir soin de placer le charbon dans le moufle froid et de le chauffer progressivement, sans cela le charbon s'agglutinerait en formant du coke, difficile ensuite à réduire en cendres, et on s'exposerait à des pertes par projection, parce que la plupart des houilles, si l'on chauffe trop vivement, produisent des crépitements au commencement du chauffage. L'incinération est complète lorsqu'on n'aperçoit plus dans la masse de petits points noirs, plus faciles à distinguer en humectant légèrement la masse avec de l'alcool qui s'évapore complètement lorsqu'on remet au moufle. Quand l'incinération est terminée, on laisse refroidir et l'on pèse; le poids obtenu, déduction faite du poids de la capsule tarée d'avance, donne le poids des cendres. Au lieu de capsule de platine, on peut, dans un fourneau à moufle chauffé progressivement, employer une capsule ou un creuset bas en porcelaine.

Matières volatiles. — On chauffe au rouge un creuset de terre dont le couvercle doit être bien ajusté et percé d'un petit trou en son milieu. On laisse refroidir et on tare. On y verse alors la houille à examiner et pesée, on pose le couvercle et on chauffe sur une flamme d'un bec Bunsen, en augmentant progressivement la température, afin d'éviter les projections et le boursouflement du coke, qui, si le creuset était trop plein, soulèverait le couvercle et, laissant rentrer de l'air, brûlerait un peu du coke formé, ce qui fausserait les résultats. On termine en portant le creuset au rouge à l'aide d'un chalumeau, jusqu'à ce qu'il ne se dégage absolument plus de gaz combustibles; on laisse refroidir et on pèse. La perte de poids donne la quantité de matières volatiles. Le résidu est du coke, mais nous n'estimons pas que l'on puisse se servir de ce résultat pour calculer le rendement en coke; le chiffre obtenu est généralement plus élevé que celui qui est fourni dans la pratique, car le chauffage ayant été progressif, le coke ne s'est pas agglutiné

comme lorsqu'on chauffe brusquement; les conclusions que l'on

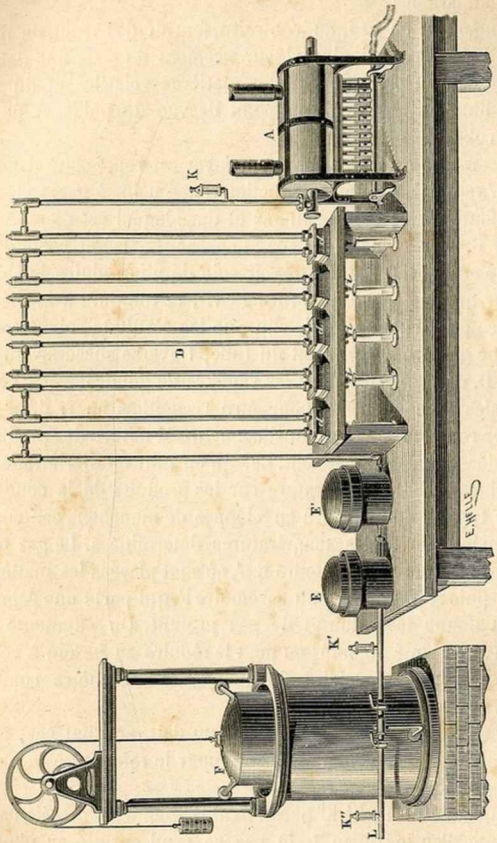


Fig. 6. — Appareil d'étude des charbons dans les usines à gaz.

pourrait tirer sur la nature du coke seraient donc inexactes. Il fau-

drait des précautions assez difficiles à réaliser pour rendre ces résultats comparables.

Le *rendement en gaz*, au contraire, fournit des résultats plus réguliers et s'approchant plus rigoureusement de ceux que donne la pratique, soit au point de vue des matières volatiles et du gaz à extraire d'un charbon, soit au point de vue du poids et de la nature du coke.

Un des meilleurs dispositifs à employer est représenté dans la figure 6. L'appareil, véritable réduction d'une usine à gaz, se compose d'un fourneau A, chauffé au gaz et dans lequel est disposé un tube en fer B, dans lequel on place le charbon, pesé et versé dans une nacelle en fer tarée. Il faut avoir soin de n'introduire le charbon que lorsque la cornue est au rouge vif, et toujours à la même température pour chaque essai, afin que les résultats soient comparables. Le gaz produit, sortant du tube, traverse successivement les tuyaux D, où il se refroidit et les vapeurs de goudrons et d'eaux ammoniacales se condensent pour être recueillies en *i*, *i'*, *i''* en ouvrant des robinets. On peut ainsi connaître la nature des produits qui se condensent successivement. Lorsqu'on veut étudier en même temps l'influence de la température sur les produits de la condensation, ces tuyaux doivent être enveloppés de manchons contenant de l'eau maintenue à des températures déterminées. Le gaz traverse ensuite les petits épurateurs E E', où sont placées les matières épurantes, puis se rend enfin au gazomètre F, qui porte une échelle graduée et donne les volumes de gaz produit. On augmente ou diminue la pression à volonté ; on peut la réduire au besoin à zéro, même au-dessous, pour faire fonctionner le gazomètre comme aspirateur.

La lecture du volume de gaz obtenu doit, en tout cas, être faite lorsque le manomètre marque zéro pour le ramener à la pression atmosphérique.

Les manomètres K, K', K'' permettent d'obtenir la pression aux divers points. Par le tuyau L, le gaz se rend ensuite au photomètre ou aux appareils d'analyse, selon les cas.

Le coke obtenu est retiré rapidement et mis à refroidir dans un espace clos, par exemple sous une cloche; on le pèse ensuite.

Les résultats obtenus ainsi seront, au point de vue du rendement en gaz et en coke, plus rapprochés de ce qui se passe en réalité dans l'industrie, et, avec quelques soins, ils sont toujours comparables entre eux. Enfin, la nature du coke pourra être examinée; il sera bien plus comparable à celui que l'on obtiendra dans la cornue que celui qui provient des essais au creuset.

Puissance calorifique. — L'appréciation de la puissance calorifique ou plutôt de la valeur calorifique des houilles peut se faire d'après trois idées différentes :

1° D'après la loi de Welter, les quantités de chaleur que développent ces combustibles en brûlant complètement sont en raison directe des quantités d'oxygène nécessaires pour leur combustion; mais, comme nous l'avons vu, une partie d'hydrogène se combine avec autant d'oxygène que trois parties de carbone; par conséquent, la méthode sera d'autant plus exacte que le combustible contiendra moins d'hydrogène. En effet, la méthode suivie d'après Berthier consiste à calculer combien le combustible peut réduire d'oxyde de plomb à l'état métallique, en s'emparant de l'oxygène de l'oxyde; pour cela, on pèse 1 gramme de houille réduite en poudre fine : on la mélange avec 30 grammes de litharge exempte de massicot et de grains de plomb métallique; on verse dans un creuset, on ajoute par-dessus 20 grammes de litharge, et on ferme avec un couvercle s'ajustant bien; puis on chauffe progressivement jusqu'à ce que le contenu soit entré en fusion; on donne un coup de feu et on laisse refroidir. On casse ensuite le creuset, on sépare le culot métallique, on le martèle et on le pèse. Le poids du culot, multiplié par 212,5, donne la puissance calorifique. Cette méthode, malgré ses causes d'inexactitude, est suffisante dans la pratique et pour des combustibles de même nature; elle est très employée en raison de sa simplicité.

2° La puissance calorifique peut être obtenue par l'expérience directe, en portant un poids connu d'eau d'une température à une

autre. C'est la méthode du calorimètre de Rumford, perfectionnée par plusieurs physiciens, Péclet, Despretz, Kamarsch, Regnault, Favre et Silbermann. Connaissant la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré 1 kilogramme d'eau, on en conclut la quantité de calories que dégage l'unité de poids du combustible. Mais cette méthode comporte une infinité de précautions, et, tout en donnant des résultats comparables pour un même appareil, n'en donne plus de comparables sans de nombreuses corrections pour des appareils différents. C'est une méthode de laboratoire. En mesurant le nombre de kilogrammes d'eau vaporisée dans une chaudière par un poids donné de combustible, méthode fort employée en Allemagne, on est arrivé, après des recherches suivies, à établir la valeur comparative d'un grand nombre de charbons. Cette méthode pratique, qui donne l'effet calorifique d'une houille par la quantité d'eau vaporisée, fournit, comme résultat, des chiffres de comparaison fort intéressants; mais elle est moins à la portée de tout le monde, ne présente pas la simplicité de la méthode de Berthier et ne donne pas les renseignements plus intéressants d'après la méthode de calcul de la puissance calorifique que d'après l'analyse élémentaire.

3° L'analyse élémentaire, comme nous l'avons vu plus haut, faisant connaître les proportions de carbone, d'oxygène et d'hydrogène contenues dans une houille, permet, d'après le raisonnement que nous avons indiqué, de calculer la puissance calorifique; elle est indépendante, en outre, des corrections spéciales aux systèmes d'appareils employés.

Le détail d'une analyse élémentaire serait un peu compliqué et ne rentre pas dans le cadre de cet ouvrage, où nous cherchons plutôt à fournir des renseignements pratiques. Aussi nous croyons devoir renvoyer aux ouvrages spéciaux d'analyse chimique, dans lesquels cette opération un peu complexe se trouve expliquée.

Analyse des gaz. — Depuis que les méthodes scientifiques de contrôle se sont introduites dans l'industrie et que la routine tend à disparaître des procédés de fabrication employés, l'analyse du

gaz a pris une grande importance. Winckler, Honigmann, Bunte, Schlœsing, etc., ont proposé des appareils pour cet objet. Parmi les plus pratiques, nous avons choisi l'appareil Orsat, pour donner une idée des méthodes employées et parce que c'est un de ceux dont l'emploi est le plus général. Modifié successivement par Salleron, Aron, Fisher, Thomson, Winkler, Müncke, il a pu trouver sa place dans une foule d'industries.

Il est utilisé pour le dosage de l'acide carbonique, de l'oxygène, de l'oxyde de carbone dans les gaz provenant de la combustion à la suite des hauts-fourneaux, fours à réverbères et autres fours métallurgiques; il sert à l'analyse des gaz de houillères, de sources, de caves, de puits, à celle des gaz de grillage, de fours à chaux, de gazogènes, et, en prenant certaines précautions, à celle du gaz d'éclairage.

En présence de certains mélanges, il y a lieu d'éliminer quelques-uns des éléments contenus, comme le goudron du gaz, et, en général, dans le plus grand nombre de cas, on peut obtenir très rapidement et facilement des renseignements pour la pratique industrielle, au moyen de cet appareil, dont la figure 7 représente une des formes les plus commodes. Son principe consiste à mesurer un volume déterminé d'un mélange de gaz, puis à mettre successivement ce volume de gaz en contact avec des absorbants appropriés et à mesurer, après chaque passage, le volume de gaz restant. Cette opération s'exécute de la façon suivante : en A est une trompe permettant de vider d'air la conduite d'arrivée des gaz qui pénètrent par *a;* puis, le robinet *e* étant fermé, on purge d'air le tube mesureur B (gradué en fractions de centimètres cubes et enveloppé d'un manchon plein d'eau), en élevant le flacon D de telle sorte que le niveau du liquide vienne jusqu'au haut du tube mesureur; une pince *g* arrête la circulation dans le tuyau de caoutchouc. Ensuite, avec la trompe, on fait monter les liquides absorbants dans leurs flacons respectifs, jusqu'auprès des robinets de barrage 1,2,3, en aspirant l'air contenu, et l'on ferme les robinets; puis on arrête la trompe. On remplit ensuite le tube mesu-

reur d'un volume déterminé de gaz, on ferme le robinet *a*; puis, par une série d'élévations et d'abaissements du flacon D, on met le gaz en contact successivement avec les liquides absorbants de 1,2,3, et chaque fois on mesure le volume absorbé.

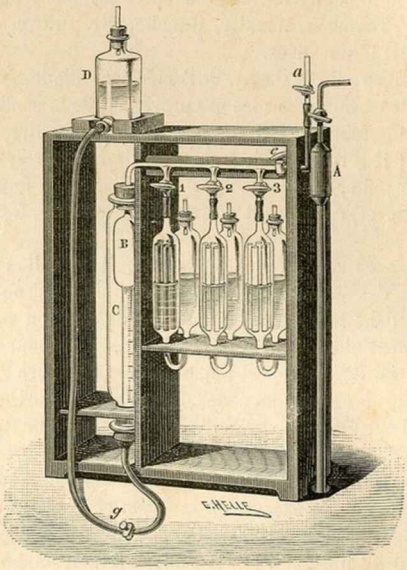


Fig. 7. — Appareil Orsat.

On obtient ainsi la composition du mélange de gaz étudié, l'hydrogène et l'azote constituant, en général, un excédent non absorbé. On emploie les liquides absorbants suivants : pour l'acide carbonique, la potasse caustique à 1,20 de densité; pour l'oxygène, l'acide pyrogallique en solution alcaline ; pour l'oxyde de carbone, une solution saturée de chlorure cuivreux dans l'acide chlorhy-

drique; pour l'éthylène (propylène, butylène), l'eau de brome; pour l'ammoniaque, l'acide sulfurique dilué; pour l'acide chlorhydrique et l'hydrogène sulfuré, de la potasse caustique; pour la benzine, l'acide azotique fumant, etc. Il nous est impossible, sans sortir de notre cadre, d'indiquer tous les cas qui peuvent se présenter; nous avons seulement voulu indiquer la marche générale de cette méthode et donner une idée du fonctionnement de cet intéressant appareil.

Pyrométrie. — Ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, la mesure des températures élevées est un élément important en industrie. Malheureusement, les méthodes d'appréciation de ces températures, dont l'ensemble forme ce qu'on appelle la *pyrométrie,* présentent des difficultés telles que, généralement, on se contente d'une estimation à l'œil d'après certaines données d'expérience. On estime généralement que le platine est

Rouge naissant à . . .	525°	Orange foncé à. . . .	1100°
Rouge sombre	700	Orange clair	1200
Cerise naissant. . . .	800	Blanc	1300
Cerise.	900	Blanc soudant	1400
Cerise clair	1000	Blanc éblouissant. . .	1500

Cependant, il y aurait tout intérêt à trouver une méthode de mesurage exacte. On a proposé successivement la dilatation des solides, des liquides ou des gaz. Mais les solides, après plusieurs chauffages et refroidissements, n'ont plus le même coefficient de dilatation.

Les liquides ont leur point d'ébullition trop bas; les gaz nécessitent des appareils trop délicats pour les usages industriels. On a proposé d'estimer la température d'après les points de fusion de certains alliages, argent, or et platine. Mais ces alliages sont coûteux et délicats à préparer avec précision, ce qui est nécessaire pour obtenir des chiffres exacts. Les travaux de Prinsep, Erhard et Schertel sur la température de fusion des alliages et métaux donnent une certaine exactitude à cette méthode; toutefois les raisons énoncées ci-dessus ont empêché son adoption.

Cependant, il y a intérêt à connaître certains points de fusion, pour des cas spéciaux. On sait que :

L'étain fond à.	230°	L'argent fond à. . . .	954°
Le bismuth	256	Le cuivre	1050
Le plomb.	339	L'or.	1075
Le zinc.	360	Le fer doux	1500
L'antimoine.	432	Le platine	1775

Ces chiffres supposent les métaux à l'état de pureté. Les alliages, sauf ceux d'argent, or, platine, pourraient servir à l'estimation de températures intermédiaires, s'ils n'étaient exposés à la liquation.

La contraction des substances argileuses à la cuisson (pyromètre de Wedgwood) ne présente aucune régularité.

La variation de résistance au passage du courant électrique suivant la température donne de bons résultats avec le pyromètre électrique de Siemens ; mais elle est trop délicate pour la pratique. Enfin, on fait usage de la méthode calorimétrique, que nous estimons suffisamment pratique pour être employée dans l'industrie. Aussi donnerons-nous ci-dessous l'instruction suivie pour son emploi dans les usines de la *Compagnie parisienne du gaz*. Cette méthode est assez simple pour être utilisée dans beaucoup d'usines. Elle repose sur la connaissance de la chaleur spécifique d'un solide, cuivre, fer, platine, c'est-à-dire de la quantité de calories nécessaire pour élever à une température donnée l'unité de poids de ce corps. La quantité de chaleur prise par ce corps est ensuite mesurée par l'échauffement d'une masse d'eau de température connue dans laquelle on le plonge. Dans cette méthode, on emploie généralement une masse de fer qui a l'inconvénient de s'oxyder, mais qui est facile à renouveler. Connaissant le poids du fer et sa chaleur spécifique, le poids de l'eau dans laquelle on le plonge, sa température initiale et sa température finale, il est facile de calculer la température du milieu où le fer a été exposé.

L'appareil employé se compose d'un vase en bois cerclé de fer d'une contenance de dix litres, portant trois orifices percés sur

son pourtour et fermés par des chevilles mobiles (fig. 8). Ce vase est posé sur un trépied ou, suivant les cas, à terre. Un couvercle mobile, percé d'un trou circulaire et muni d'une sorte de panier en bois, est posé sur le vase. Le couvercle porte sur sa face supérieure un manneton et une planchette évidée formant arrêt. Il est percé d'une entaille destinée à recevoir le thermomètre qu'un coin de bois maintient en place.

Un cube de fer du poids de 2 kilogrammes et une tringle en fer de 2 mètres de long environ et de 15 millimètres de grosseur complètent cet appareil.

Quand on veut prendre la température d'un milieu quelconque, tel que carneaux, cheminées, on opère de la manière suivante :

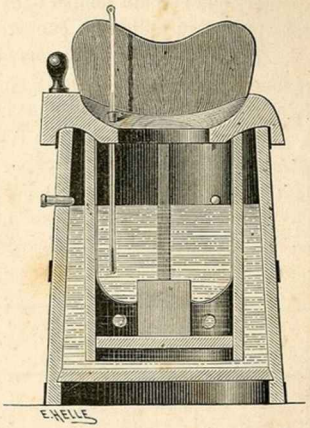


Fig. 8. — Pyromètre de la Compagnie parisienne du gaz.

Mise en place du fer. — La tringle est introduite dans le trou percé au centre du morceau de fer. Le fer est ensuite disposé dans l'enceinte dont on cherche la température.

Mesurage de l'eau. — Le vase en bois est posé sur un sol de niveau. On enlève le couvercle et les trois chevilles, on remplit le vase d'eau jusqu'à la hauteur des trois trous (si le vase est bien de niveau, l'eau sort par les trois trous). On remet les chevilles, puis on replace le couvercle.

Température de l'eau avant l'essai. — On fixe le thermomètre au point de repère (la tige dépasse le couvercle de 8 à 10 centimètres). On saisit le manneton et on fait tourner le couvercle cinq à six fois; on relève le thermomètre et on prend note du degré de température. On remet le thermomètre au point de repère. Le

vase ainsi préparé est porté vis-à-vis et à $0^m,50$ du regard de l'enceinte dont on veut prendre la température.

Enlèvement du fer. — Cet enlèvement a lieu après un séjour de vingt-cinq minutes. On fait pénétrer la tringle dans le trou percé au centre du morceau de fer, et on la retire doucement avec ce dernier, que l'on fait tomber dans l'eau du vase en bois par l'ouverture percée au milieu du couvercle.

Température de l'eau après l'essai. — On saisit de nouveau le manneton du couvercle, auquel on fait faire huit à dix révolutions ; on relève le thermomètre et on note le degré ; l'expérience est terminée.

Calcul de la température T. — Du chiffre représentant la température t de l'eau après l'essai, on retranche le chiffre représentant la température t avant l'essai. On cherche dans le tableau ci-dessous le chiffre correspondant à cette différence $t_1 - t$. On note ce chiffre ; on y ajoute le degré t, après l'essai ; le total donne la température cherchée.

$t_1 - t$.	$\frac{P}{pe}(t_1 - t)$.	$t_1 - t$.	$\frac{P}{pe}(t_1 - t)$	OBSERVATIONS.
1	39	21	833	NOTA. — Pour obtenir la température cherchée, il suffit d'ajouter aux chiffres des colonnes contenant les valeurs de $\frac{P}{pe}(t_1 - t)$ le chiffre trouvé pour t_1 la température finale de l'eau.
2	79	22	873	
3	118	23	912	
4	158	24	952	
5	198	25	992	
6	237	26	1031	
7	277	27	1071	
8	316	28	1111	
9	356	29	1150	
10	396	30	1190	
11	436	31	1230	
12	476	32	1269	
13	515	33	1309	
14	5 5	34	1349	
15	595	35	1388	
16	634	36	1428	
17	674	37	1468	
18	714	38	1507	
19	753	39	1547	
20	793	40	1587	

Si on veut la calculer, il suffit d'employer la formule

$$T = \left(\frac{t_1 - t}{pc}\right) + t_1$$

dans laquelle P est le poids de l'eau, = 10 kilogrammes, p le poids du fer, = 2 kilogrammes, et c la chaleur spécifique du fer, $= 0{,}126$; d'où $T = 39{,}68\,(t_1 - t) + t_1$; et si, par exemple, on trouve $t = 11$ et $t_1 = 42$, $t_1 - t = 31$, d'où $31^\circ \times 39{,}68 + 42 = 1272$.

II

COMBUSTIBLES DÉRIVÉS

Briquettes d'agglomérés.

Beaucoup de matières combustibles à l'état pulvérulent sont restées pendant longtemps sans emploi; telles sont la sciure de bois, les pailles menues, la tannée, le poussier de charbon de bois, de tourbe et les menus de houille.

C'est seulement après l'invention de moyens convenables pour préparer les agglomérés que l'on a connu les divers systèmes découverts depuis pour brûler ces déchets en nature. En effet, les combustibles pulvérulents ne peuvent se tenir sur les grilles, qu'il faudrait disposer avec des barreaux trop rapprochés; et en outre, comme ils sont trop menus, ils ne laissent pas entre chaque morceau un passage suffisant à l'air pour que la combustion puisse s'effectuer. Aujourd'hui, divers systèmes de foyers permettent de les brûler; tels sont les foyers à étages du genre Perret, dans lesquels le combustible est disposé en couches minces sur de grandes surfaces, et les gazogènes.

Nous n'avons à nous occuper ici que des agglomérés de houille; du reste, les autres matières combustibles pulvérulentes pourraient être agglomérées par des moyens analogues.

L'industrie de la fabrication des agglomérés s'est surtout établie près des mines où la matière première, le menu, était autre-

fois tellement abondant que, pour s'en débarrasser, on le jetait dans les anciennes galeries pour les remblayer.

La proportion de menu atteignait jusqu'à 20 pour 100 du charbon extrait, avec certaines qualités friables.

Dans le principe, les agglomérés n'étant pas très employés, les industries peu nombreuses qui les utilisaient n'étaient pas exigeantes; mais peu à peu leur usage s'étant répandu en raison de certaines commodités qu'ils présentent, telles que la régularité des dimensions facilitant l'emmagasinement, les fabricants ont été amenés par les demandes, et par leur intérêt, à soigner les détails de la fabrication.

Aujourd'hui, les grandes industries des transports par voies ferrées et par bateaux, à cause des facilités d'arrimage, les emploient en quantités si considérables que la production française ne suffit plus, et que l'importation des agglomérés belges et anglais représente aujourd'hui une valeur très importante. Ajoutons encore que les menus, étant très divisés, facilitent l'épuration, c'est-à-dire l'enlèvement des parties terreuses inertes par le lavage.

Dans les cahiers des charges de fourniture, les grandes administrations marines, les compagnies de transport et les chemins de fer exigent généralement des briquettes présentant des qualités que nous allons énumérer.

Cohésion. — Les morceaux d'agglomérés pesant au moins 500 grammes, mis dans un cylindre en fer de 1 mètre de long et de $0^{m},50$ de diamètre, par exemple, muni de lames à l'intérieur pour obliger les morceaux à retomber les uns sur les autres et tournant à une vitesse déterminée, soit 50 révolutions en 2 minutes, ne doivent pas donner plus de 50 pour 100 de morceaux d'une grosseur inférieure à 4 centimètres.

Densité. — La densité des briquettes doit être en moyenne de 1,17 (1,13 à 1,21).

Teneur en brai. — La teneur en brai, *agglomérant* généralement employé, doit être de 8 pour 100 en moyenne lorsque le brai a servi à l'agglomération.

Ramollissement. — Une température d'étuve de 60°, maintenue de dix à vingt-quatre heures, ne doit pas faire éprouver de ramollissement sensible.

Fumée. — Dans la marine, en particulier, on exige que les briquettes ne donnent pas de fumée noire, mais une fumée grise et légère (?).

Cendres. — La teneur en cendres est une des conditions les plus sévèrement contrôlées; on exige généralement que les agglomérés ne laissent, à l'essai d'incinération, que 5 à 7 pour 100 de cendres et au maximum 10 pour 100 de cendres à la combustion au foyer.

Puissance calorifique. — La puissance calorifique des bonnes briquettes est souvent supérieure de 10 à 15 pour 100 à celle des bonnes houilles. Aussi, en résumé, est-ce un excellent combustible.

Nous allons voir maintenant quelles sont les méthodes employées pour leur fabrication.

Trois points sont à considérer pour cette industrie : la qualité des houilles, la nature de l'agglomérant, les machines employées.

Houilles. — La qualité des houilles est loin d'être indifférente pour arriver à obtenir des agglomérés présentant les conditions énoncées ci-dessus.

Tout d'abord, pour obtenir une faible teneur en cendres, les houilles doivent être soigneusement lavées.

Les méthodes de lavage sont les mêmes que celles employées pour le lavage des houilles destinées à la fabrication du coke; elles reposent toutes sur la différence de densité existant entre la houille (1,0 à 1,3, comme nous l'avons dit) et celle des impuretés ou matières étrangères que l'on retire de la mine avec le charbon et qui varie de 2 à 4. Si l'on jette dans l'eau un mélange de poussier de houille et de poussier de quartz, de schiste ou de spath calcaire qui ordinairement accompagnent la houille, celle-ci sera, en raison de sa moins grande densité, la dernière à atteindre le

fond; ou bien, si, au lieu de mettre le mélange à trier en mouvement dans l'eau, on met au contraire l'eau en mouvement et que ces matières soient maintenues dans un courant d'eau, ce seront les houilles qui seront entraînées le plus loin et les matières lourdes qui se déposeront les premières. Il est essentiel, pour que la séparation soit nette, que les grains soient à peu près tous de même grosseur, ce que l'on obtient par un broyage préalable et un criblage servant à leur classification.

On ne soumet ainsi au lavage que des qualités de même grosseur. La théorie du lavage et la description des divers appareils employés nous entraîneraient trop loin.

Les houilles ne présentent pas toutes les mêmes facilités pour l'agglomération, même lorsqu'on emploie une matière agglomérante plus ou moins abondante.

Avec peu de ciment, les houilles grasses donnent très facilement des briquettes ayant une grande cohésion, tandis qu'avec les houilles très sèches, les anthracites et les lignites, il est très difficile d'obtenir des briquettes qui soient non pas solides (elles en ont au moins l'apparence à froid), mais qui se maintiennent convenablement sur les grilles des foyers et ne se réduisent pas alors en poussière. On devra donc, autant que possible et sauf des cas absolument spéciaux, n'employer que les houilles grasses et demi-grasses pour cette fabrication.

Agglomérant. — On a proposé successivement bien des substances pour servir à l'agglomération de la houille. Les agglomérés ont été faits avec de l'argile délayée mélangée au poussier de charbon; la pâte obtenue était moulée, puis séchée à l'air. Les briquettes obtenues, peu solides, donnaient tout naturellement beaucoup de cendres et brûlaient mal. Lorsque les premières usines à gaz se créèrent, elles produisaient en quantité du goudron ou coal tar (goudron de houille), qui était à cette époque une matière encombrante dont elles ne savaient comment se débarrasser. On fit des essais de briquettes agglomérées avec ce goudron ; mais elles manquaient de consistance, étaient longues à durcir et enfin

avaient une très mauvaise odeur. M. Marsais, ingénieur à Saint-Étienne, eut alors l'idée, vers 1842, d'employer le goudron après en avoir extrait 25 pour 100 d'huiles volatiles, par distillation. Ce produit, nommé brai gras, solide à la température ordinaire, dur et cassant par les grands froids, se ramollissait par les grandes chaleurs et présentait l'inconvénient de donner des briquettes exposées au ramollissement. En outre, depuis que les procédés de distillation du goudron ont été perfectionnés et que les produits obtenus ont acquis de la valeur, il y avait avantage à n'employer que le dernier résidu de la distillation ou brai sec, qui reste lorsque les produits, volatils au-dessous de 300°, ont été éliminés. Le brai sec, très dur et cassant, change à peine de forme par les plus grandes chaleurs de l'été, ce qui permet de l'expédier en vrac.

On attribue le premier emploi du brai sec à Wylam. C'est cette substance qui, aujourd'hui, est généralement la matière agglomérante usitée dans les usines.

Les autres substances proposées, telles que la gélatine sous une forme quelconque, le lichen en décoction ou autres matières mucilagineuses végétales, les résines, quelquefois les corps gras, n'ont pas d'applications industrielles importantes.

On a proposé également la fabrication des briquettes sans emploi de matières agglomérantes. Plusieurs raisons sembleraient en effet concluantes en faveur de ce procédé : le prix du brai qui, à certains moments, a été très élevé, la solidité des briquettes qui ainsi ne pourraient pas se ramollir, enfin le produit obtenu qui, ne contenant que le charbon seul, donnerait des briquettes très pures. Évrard, Bessemer, Baroulier, etc., ont fait des tentatives plus ou moins heureuses sans arriver à une bonne fabrication; dans tous les systèmes, on emploie un mélange de houille contenant une forte proportion de houille très grasse. Ce mélange comprimé est chauffé à haute température; le charbon gras se ramollit, agglomère la masse et remplace ainsi le brai. Tous ces procédés n'ont pas été généralement adoptés, à cause des difficultés du chauffage à haute température, qui était coûteux par lui-même, et des frais d'entre-

tien du matériel qu'il imposait et qui se trouve rapidement détérioré.

Machines. — En somme, le procédé généralement adopté aujourd'hui est l'agglomération au moyen du brai gras ou sec, le plus souvent du brai sec. Les différentes méthodes de fabrication ne varient que par les dispositifs mécaniques. Les machines se composent de deux parties : celles qui sont disposées pour la préparation de la pâte de houille et de brai et celles qui opèrent la compression du mélange. Nous avons vu que les houilles sont tout d'abord lavées afin d'être purifiées.

La préparation de la pâte se fait de deux manières, selon que l'on emploie du brai gras ou du brai sec.

Pour le brai gras, le charbon, séché et chaud, est amené dans un malaxeur, chauffé en même temps que le brai gras fondu, soit par un foyer à chauffe directe, soit par injection de vapeur surchauffée, comme dans le système Évrard. Lorsqu'on a obtenu un malaxage suffisant pour constituer une pâte parfaitement homogène, on conduit cette dernière aux appareils de moulage et de compression au moyen de conduits inclinés, en tôle chauffée, ou de conduits horizontaux dans lesquels la pâte est poussée par des hélices.

On emploie environ 8 pour 100 de brai. La température à laquelle on maintient le charbon et le brai varie entre 80 et 100°.

Lorsque l'on se sert du brai sec, on le broie d'abord ; puis, dans certains cas, on le mélange avec une certaine quantité d'huiles lourdes pour augmenter sa fluidité. Le charbon chauffé et le brai liquéfié sont mélangés dans des appareils chauffés soit par la vapeur surchauffée à 300°, soit sur des soles fixes ou tournantes ; enfin ils sont malaxés avant de parvenir aux appareils de compression.

Avec un chauffage convenable et un malaxage bien entendu, dans des appareils assez grands pour que le mélange y séjourne assez longtemps, de manière à atteindre une température suffisante pour le ramollissement complet, on peut arriver à réduire la quantité

de brai de 8 à 4 pour 100, selon la qualité des charbons employés.

En sortant des mélangeurs, la pâte est reçue par les machines à compression dont les nombreux modèles peuvent être classés en trois genres principaux.

1° Machines à pistons avec moules à compression fermés.
2° — — — ouverts.
3° Machines à roues tangentielles.

Tous les systèmes de machines à compression doivent donner des briquettes d'une densité régulière, dures et sonores ; celles-ci doivent ne pas être trop grosses pour qu'on n'ait pas à les concasser en trop de morceaux pour les mettre dans les foyers et cependant ne pas être trop petites pour qu'une tonne de briquettes soit trop longue à arrimer.

La pression nécessaire pour obtenir une bonne agglomération varie entre 100 et 150 kilogrammes par centimètre carré.

1° *Machines à pistons avec moules à compression fermés.* — Toutes ces machines comportent un ou plusieurs moules en fonte avec fond mobile, dans lesquels un piston vient comprimer la pâte chaude. Les principales machines sont celles de Marsais où l'on fabrique un gros bloc qui est cassé en morceaux après la compression produite par une presse hydraulique; celle de Middleton, formée d'un plateau circulaire, tournant devant deux pistons verticaux; le plateau circulaire est percé d'ouvertures constituant les moules. Au-dessous du premier piston, sous le plateau, est une plaque pleine; la pâte est comprimée dans le moule du plateau entre la plaque pleine et le 1er piston; le plateau, après le relèvement du piston, tourne un peu, de manière à amener la briquette venant d'être comprimée au-dessus d'une ouverture correspondant au 2e piston, qui en descendant fait tomber la briquette. Pendant ce temps-là, le 1er piston a comprimé une nouvelle briquette dans un autre moule amené par la rotation du plateau, et ainsi de suite. La machine Revollier emploie le plateau ou chariot Middleton et la compression par pression hydraulique. Quelquefois le plateau tour-

nant est remplacé par un mouvement de va-et-vient. La machine Mazeline comporte également un plateau tournant dans lequel la compression a lieu de bas en haut au moyen de plaques poussées par des vis; les briquettes obtenues pèsent 9 à 10 kilogrammes dans les grands modèles et 5 kilogrammes dans les petits.

2° *Machines à piston avec moules ouverts.* — La machine type de ce genre est la machine Évrard, aujourd'hui très répandue. Elle se compose d'un plateau circulaire horizontal, percé, suivant les rayons, d'un certain nombre de trous cylindriques de $0^m,12$ à $1^m,15$ de diamètre et au nombre de seize généralement; dans chacun des moules s'enfonce un piston ayant $0^m,14$ à $0^m,16$ de course. Tous ces pistons sont actionnés par un seul excentrique, placé au centre du plateau. Cet excentrique est monté sur un arbre vertical dont la rotation pousse et retire successivement tous les pistons. Lors du recul des pistons, la pâte amenée du malaxeur descend dans un espace laissé à découvert par le piston, qui vient ensuite la chasser dans le moule et, la réduisant à $0^m,03$ d'épaisseur, la fait adhérer à la partie déjà comprimée; lorsque, par suite de plusieurs coups de piston, le cylindre comprimé a atteint une longueur suffisante en dehors du moule, il est cassé et emporté au magasin.

Ces machines, dans lesquelles la compression a lieu, en raison de l'adhérence le long des parois du moule, malgré la pression de 100 kilogrammes par centimètre exercée par les pistons, ne marchent convenablement qu'avec une pâte assez molle exigeant l'emploi du brai gras ou du brai sec mélangé de goudron. Un des avantages réalisés consiste dans la densité élevée des briquettes qui sont très homogènes.

3° *Machines à roues tangentielles.* — Les machines à roues tangentielles sont moins employées.

La machine Jarlot est formée de deux roues semblables fonctionnant comme des engrenages. Une trémie amène la pâte au-dessus des deux roues qui, par le mouvement de rotation, l'obligent à pénétrer de plus en plus à chaque tour et enfin à sortir sous

forme d'une série de boudins continus enlevés par un couteau fixe.

Dans la machine David, au contraire, l'une des roues est garnie de dents, l'autre de creux formant moule. Au fond de ces creux est un tasseau qui est poussé par une came vers l'extérieur, et, quand il se trouve en face d'une dent, sert à la compression ; un peu plus loin, la roue continuant son mouvement, le fond mobile pousse la briquette formée et la fait tomber sur une table, d'où elle est enlevée par les ouvriers. Enfin la machine Verpilleux est simplement formée de deux roues pleines et unies agissant comme une sorte de laminoir, débitant un ruban continu que des couteaux coupent à la longueur voulue.

Afin de mieux faire comprendre les détails de cette fabrication, représentant aujourd'hui 2,500,000 tonnes, dont un million en France, nous donnons ci-contre (fig. 9) la description d'un ensemble comprenant une des bonnes machines du premier type, dans lequel la compression est double : c'est la machine Biétrix et Couffinhal.

L'ensemble des appareils comprend un broyeur A, auquel les menus sont amenés du dehors de l'usine par des wagonnets. Le charbon broyé et criblé, pour être amené à une grosseur uniforme de grains, est élevé ensuite par la chaîne à godets B, au-dessus du four E, où il est amené par une hélice en fonte C. C'est dans ce four que le menu de charbon est chauffé et séché. Ce four se compose d'une sole tournante F, constituée par un plateau en fonte mobile autour d'un axe vertical qui lui transmet ce mouvement, produit par une transmission inférieure.

Le plateau est enfermé dans la masse du four E, en briques réfractaires, qui l'enveloppe complètement et auquel est attenant un foyer placé sur le côté. Les flammes passent sur la partie supérieure de la sole tournante, puis dessous, et de là gagnent la cheminée de l'usine par une cheminée traînante.

Le menu chauffé sur le plateau est remué continuellement par des rables fixes qui renouvellent ainsi les surfaces. Du côté de la

machine à comprimer, des palettes inclinées le poussent vers le conduit G, contenant une vis mélangeuse à enveloppe de vapeur; le menu chauffé au-dessus de 100° y reçoit le brai en poudre, qui y est conduit au moyen d'un élévateur spécial. La vis commence le mélange de la pâte, qui devient complètement homogène dans le malaxeur H, d'où il tombe dans la machine à compression M. L'organe essentiel de cette machine est un plateau tournant à alvéoles du genre du chariot Middleton; il comporte 12 à 14 moules disposés pour donner aux briquettes une forme telle que la hauteur et la largeur soient moitié de la longueur, ce qui permet de les empiler en les croisant; quatre d'entre elles forment un cube parfait. La compression se produit au-dessus et

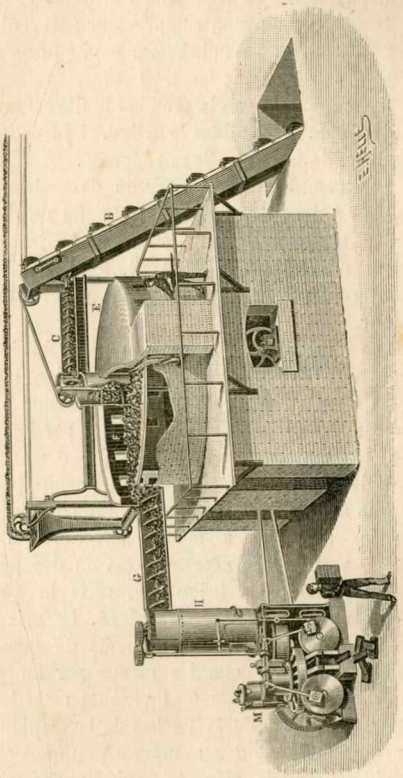


Fig. 9. — Machine à agglomérer, système Biétrix et Coufinhal.

au-dessous des briquettes par l'intermédiaire d'un cylindre hydraulique permettant de régulariser la pression sur les briquettes. Cette pression s'effectue en trois temps distincts :

1er temps. Le piston compresseur agit seul.

2e temps. Le piston inférieur monte jusqu'à ce que la pression soit égale sur les deux faces.

3e temps. Lorsque la pression limite est atteinte, le piston continue son mouvement dans le cylindre hydraulique jusqu'à ce que le point mort de la manivelle soit dépassé.

Le démoulage par un piston démouleur spécial se fait sur un tablier à bascule, une toile sans fin ou directement à terre. Il existe quatre modèles de presse à double compression qui donnent des briquettes de 1, 2, 5 et 10 kilogrammes et produisent respectivement 18, 50, 90 et 150 tonnes de briquettes par jour.

Les machines à compression pour fabriquer des briquettes d'agglomérés exigent des machines motrices assez puissantes.

La force nécessaire varie d'un système à l'autre entre 4 et 8 chevaux par tonne de briquettes et par heure ; les machines à roues tangentielles sont celles qui demandent le moins de force : de 4 à 6 chevaux ; viennent ensuite les machines de compression à moules fermés, qui prennent de 5 à 6 chevaux, et enfin les machines à moules ouverts, qui prennent de 6 à 8 chevaux. La force nécessaire est un des points importants du prix de revient des briquettes, mais le côté essentiel est le prix du menu de houille employé. Le prix du brai est assez variable. En somme, les agglomérés de houille coûtent de 6 à 8 francs plus cher que les menus par tonne, de 2 à 4 francs plus cher que la houille tout venant ; mais les qualités des briquettes, en raison de la facilité de la combustion et l'épuration du menu, donnent des avantages pratiques qui compensent bien ces différences de prix. Nous indiquons ci-dessous, d'après Knapp, le résultat de nombreuses expériences de M. l'ingénieur Delantel.

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	DECHET POUR 100			POUVOIR CALORIFIQUE rapporté à celui de la houille de Cardiff [1].	TÉNACITÉ. RAPPORT du gros au menu [2].
	Cendres.	Escarbilles.	Total.		
A. *Charbons à courte flamme.*					
Anzin. Roche (puits Thiers). . .	5,70	2,50	8,20	1,053	35 à 40
— Briquettes cylindriques au brai sec	3,48	2,91	6,39	1,025	50 à 60
— Briquettes rectangulaires au brai sec	3,48	2,91	6,39	1,010	50 à 60
Charleroi. Baudin Evrard. Dehaynin.	»	»	6 à 7	1,002	45 à 50
Cardiff. Roche	6,11	2,31	8,42	1,000	42 à 47
Chazotte. Briquettes cylindriques brai gras.	3,53	3,49	7,02	0,981	»
B. *Charbons gras.*					
Firminy. Roche.	3,88	4,15	8,03	0,910	»
Brassac. Roche.	11,83	4,67	16,50	0,887	»
C. *Charbons longue flamme.*					
Brunay. Roche.	2,34	1,52	3,86	0,878	»
Newcastle. Roche.	3,55	1,62	5,17	0,841	50 à 60
Blanzy } Puits Cinq-Sous. . . }	4,02	5,22	9,24	0,781	»
Blanzy } — Sainte-Marie. . . }				0,740	»

1. Le Cardiff, pris pour unité, vaporise 8k,30 d'eau par kilogramme.
2. La cohésion est prise d'après les renseignements donnés plus haut dans les conditions générales exigées pour les agglomérés.

Charbon de Paris.

La fabrication du charbon de Paris, comme celle des agglomérés, est une industrie toute moderne ; elle utilise, comme elle, des résidus qui, à l'époque de sa création, avaient peu de valeur. De même que l'industrie des agglomérés de houille, la fabrication du charbon de Paris a reçu, depuis son origine, divers perfectionne-

ments, tant dans les machines employées que dans la nature des matières premières. L'industrie du charbon de Paris a été créée de toutes pièces par M. Popelin-Ducarre; il eut l'idée d'utiliser les résidus de matières végétales brûlant facilement après agglomération, comme du charbon de bois, et inventa les machines nécessaires à la réalisation industrielle de son idée.

Les matières premières qu'il avait en vue tout d'abord étaient les bruyères, la sciure de bois, les menues branches restant dans les forêts et le tan de tanneries; mais les dépenses de carbonisation préalable firent abandonner ces diverses substances (dont cependant la valeur brute était peu considérable) pour utiliser exclusivement les poussiers de charbon de bois restant dans le fond des bateaux qui les amènent à Paris ou dans les magasins, et le poussier de charbon de tourbe. Ces matières brûlant très facilement et même trop rapidement, on put y mélanger du poussier de coke, qui, étant très bon marché, abaisse le prix de revient. Mais il y a une limite qu'il ne faut pas dépasser dans la proportion du mélange de coke, parce qu'alors les briquettes deviennent plus difficiles à brûler; les quantités convenables de coke à introduire dans les briquettes sont indiquées par la pratique.

Comme dans la fabrication des agglomérés de houille que nous venons de passer en revue, trois éléments sont à considérer pour le charbon de Paris : la matière première, l'agglomérant et les machines de compression; mais cette fabrication entraîne une autre opération nécessitée par la nature de l'agglomérant employé, c'est la carbonisation après le moulage de la pâte. La fabrication dans le principe comprenait :

1° La carbonisation des résidus végétaux destinés à la fabrication du charbon.

2° La pulvérisation du charbon obtenu.

3° Le mélange avec l'agglomérant.

4° Le moulage de la pâte.

5° Le séchage des briquettes.

6° La carbonisation du charbon moulé.

La carbonisation avait lieu dans des fours en briques réfractaires avec enveloppe en maçonnerie cubant environ 10 mètres cubes et donnant, à raison de 3 charges par 24 heures, 450 kilogrammes de charbon obtenus avec 1500 kilogrammes de déchets de bois (bourrées et copeaux); mais, comme nous le disions plus haut, cette opération a été généralement supprimée par suite de l'emploi de résidus de charbons.

Ces charbons, qui ne sont pas en poudre assez fine ni assez régulière, ont besoin d'être pulvérisés au moyen de broyeurs soit à pilons, soit à cylindres. On a soin d'humecter la matière avec 10 pour 100 d'eau avant le broyage. Enfin on fait subir aux charbons broyés un criblage.

La poudre de charbon est ensuite mélangée avec du goudron brut de gaz d'éclairage dans la proportion de 35 à 50 pour 100. Ce goudron, lors de la calcination ultérieure des briquettes, laissera 20 à 25 centièmes de son poids de charbon. Le mélange de la poudre et du goudron se fait dans une auge circulaire métallique dans laquelle tournent trois meules en fonte, deux cannelées et une lisse; une lame de fer, inclinée en forme de soc de charrue, relève tout le temps la pâte, afin que le mélange soit plus homogène. Les meules tournent ainsi pendant un temps qui varie de trois quarts d'heure à une heure; puis on ouvre une porte en fonte ménagée dans la paroi de l'auge circulaire et, sans arrêter le mouvement des meules, on laisse descendre dans la pâte une lame oblique qui la chasse hors de l'appareil. On recharge de suite le mélangeur de charbon et de goudron pour faire une nouvelle quantité de pâte.

Depuis quelque temps, on a remplacé, comme dans la fabrication des agglomérés, le goudron de gaz par du brai sec dans la proportion de 35 à 40 pour 100; les briquettes obtenues sont plus lourdes, le brai sec laissant perdre moins de matières volatiles que le goudron.

Le moulage se fait soit avec les compresseurs de M. Popelin-Ducarre (fig. 10) lorsqu'on emploie le goudron, soit avec la

machine Mazeline, si c'est le brai sec qui sert d'agglomérant.

La machine à mouler de M. Popelin-Ducarre se compose de trois pièces animées de mouvements différents. D'abord une forte pièce de bois à laquelle des bielles impriment un mouvement vertical de va-et-vient. Cette pièce porte à sa partie inférieure deux rangs de pistons en fer disposés verticalement : les uns sont des pistons bourreurs, les autres des pistons débourreurs. Au-dessus

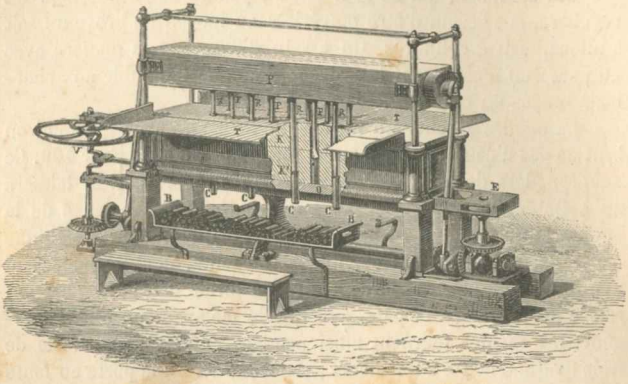


Fig. 10. — Machine à mouler le charbon de Paris.

est disposée une plate-forme fixe en fonte comportant des entonnoirs dans lesquels deux femmes versent sans interruption de la pâte de charbon et goudron. Les pistons bourreurs compriment la pâte dans ces entonnoirs et l'obligent à pénétrer dans des moules cylindriques pratiqués dans une deuxième pièce de fonte, disposée directement au-dessous de celle qui porte les entonnoirs, mais animée d'un mouvement horizontal de va-et-vient produit par un excentrique. Aussi ` que les pistons bourreurs ont obligé la pâte à se comprimer dans ces moules et se relèvent, cette pièce glisse d'une certaine quantité et présente sous les entonnoirs de nouvelles

cavités semblables aux premières et que l'on emplit également de pâte. Les pistons bourreurs descendent et compriment la pâte dans ces nouveaux moules, puis se relèvent, et la pièce porte-moules glisse à nouveau. Mais, pendant que les pistons bourreurs agissaient successivement sur les deux séries de moules, les pistons débourreurs travaillaient en même temps en forçant les cylindres de charbon moulé à continuer leur mouvement de descente au travers d'une plaque inférieure en fonte, percée de trous correspondant aux cylindres à démouler. Ceux-ci sont reçus entre les mains de femmes qui les disposent horizontalement sur une sorte de table en tôle à bouts relevés.

Chaque mouvement des pistons dure deux secondes et donne quatre briquettes finies. La machine, desservie par un homme et quatre femmes, produit environ 150 hectolitres de briquettes et exige une force de 6 chevaux-vapeur. Comme nous le disions plus haut, on substitue aujourd'hui le brai sec au goudron, et la compression se fait à la Compagnie du charbon de Paris, par exemple, avec une machine du système à roues tangentielles construite par M. Mazeline. Ces roues sont creusées sur leur pourtour d'entailles demi-cylindriques qui, lors du mouvement de rotation des roues, se correspondent exactement. La pâte de charbon, versée dans une trémie placée entre les deux roues, s'écoule dans les entailles où elle se comprime en forme de cylindres par suite du mouvement circulaire des roues. Au-dessous du point de contact des roues sont disposées des petites plaques parallèles qui saisissent les cylindres moulés par les deux bouts et les enlèvent. Avec la compression au goudron, il est nécessaire de faire sécher les briquettes qui sont alors trop molles; on les expose pour cela dans un endroit aéré, pendant une durée de 2 à 8 jours, selon la saison.

Lorsque les briquettes sont assez fermes, on procède à leur carbonisation, qui a pour but d'en faire sortir tous les produits volatils du goudron et l'humidité provenant de l'addition d'eau au broyage.

La carbonisation s'opère dans un four en briques réfractaires renfermant un certain nombre de moufles ou caissons en terre

également réfractaire autour desquelles circulent les flammes. Celles-ci sont produites par les matières volatiles qui s'échappent des briquettes elles-mêmes chauffées au rouge ; c'est pourquoi les moufles ne sont pas chargés en même temps, mais successivement, de manière à utiliser les produits combustibles qui se dégagent des moufles chargés antérieurement. Les briquettes cylindriques, étant entassées dans une sorte de caisse en tôle à trois côtés, sont introduites avec cette caisse dans les moufles et, tandis qu'un ouvrier, au moyen d'un outil formé d'une plaque rectangulaire, ayant les dimensions de la caisse, maintient les briquettes, un autre ouvrier, au moyen d'un crochet, tire la caisse en dehors du moufle, de manière à ne laisser que le charbon dans le four ; puis il ferme de suite la porte en fonte du moufle. La carbonisation dure douze heures, et comme les charges se font toutes les six heures, il ne se produit pas d'arrêt dans le fonctionnement. Lorsqu'au moyen de regards on voit que les briquettes ne dégagent plus de gaz inflammables, on défourne, en les faisant tomber dans des étouffoirs en tôle où elles se refroidissent en dix ou douze heures.

La chaleur perdue des fours est employée à chauffer le générateur de la machine motrice de l'usine.

Tel est, dans son ensemble, le mode de fabrication de ces agglomérés qui permet d'utiliser nombre de résidus difficiles à employer autrement et qui, en raison de leur densité, de 1/3 environ plus grande que celle du charbon de bois, brûlent plus lentement que ce dernier et par la régularité de leur combustion présentent certains avantages spéciaux dans un grand nombre d'applications industrielles et domestiques.

Le coke.

Le coke est le produit de la carbonisation de la houille ; son nom semble venir du latin *coagere* ou *coquere* (les Anglais, qui écrivent coke aujourd'hui, écrivaient autrefois coak). Le coke est utilisé depuis longtemps en Angleterre, surtout dans la métallurgie.

Depuis longtemps, en effet, des ouvrages ont été publiés dans ce pays, qui traitent de son emploi et de ses divers modes de fabrication.

Dans beaucoup de cas, le coke présente, au point de vue de la combustion, des avantages spéciaux qui l'ont fait employer de préférence à la houille, et souvent même le rendent indispensable : les produits volatils à haute température ayant été éliminés par la carbonisation, il brûle sans fumée et avec peu d'odeur ; sa teneur en carbone est plus élevée que celle de la houille. La chaleur rayonnante du coke en combustion étant très intense permet d'en obtenir un très bon chauffage dans les cheminées. Enfin, comme ce combustible est, soit le résidu de la fabrication du gaz, soit le produit de la carbonisation de menus de houille, il peut être vendu à très bas prix et constitue une source de chaleur très économique.

Nous avons fait remarquer, en parlant des propriétés de la houille, et en passant rapidement en revue les méthodes d'analyse, que les diverses espèces de houille donnent des cokes ayant des qualités très différentes en raison de la manière dont la houille se comporte à la calcination ; les houilles grasses et demi-grasses ont la propriété de se boursoufler ou au moins de s'agglutiner sous l'action de la chaleur, tandis que les anthracites et les houilles maigres ne laissent qu'un résidu pulvérulent sans cohésion. Il y a donc lieu de choisir, pour la fabrication du coke, des houilles qui rentrent dans les deux premières catégories.

Nous avons vu, lorsque nous avons parlé de la fabrication des agglomérés, que les menus subissent, avant toute préparation, un lavage préalable qui a pour but d'éliminer les matières terreuses. Il y a encore plus d'intérêt à laver les menus de houille destinés à la fabrication du coke, afin d'éliminer les matières argileuses et sableuses qui se vitrifient à la combustion en donnant des scories et du mâchefer. En opérant ainsi, on diminue aussi la teneur en cendres qui déprécient le coke et sont souvent nuisibles dans un grand nombre d'opérations métallurgiques. Le lavage enlève également les parcelles de fer sulfuré qui accompagnent souvent le

charbon dans les veines de houille. Nous avons indiqué les principes sur lesquels sont établies les méthodes du lavage de la houille; nous ne donnerons pas dans ce volume de plus longs détails sur cette opération accessoire.

Tous les procédés de fabrication du coke peuvent être ramenés à trois :

1° La distillation du charbon dans les cornues pour la fabrication du gaz ;

2° La carbonisation en meules ou en tas;

3° La carbonisation dans des fours.

Nous ne nous occuperons, pour le moment, que des deux derniers procédés, le premier faisant partie de la description de la fabrication du gaz que nous traiterons plus loin.

Carbonisation en meules. — Par ce procédé de carbonisation qui a évidemment précédé la méthode des fours, on ne peut songer à recueillir tous les produits de la décomposition de la houille. On peut admettre trois manières de faire cette carbonisation : 1° en meules coniques ou en meules rectangulaires sans cheminées ; 2° en meules avec cheminées, et 3° en tas. De toute façon, il est nécessaire que les produits volatils s'échappent; c'est pourquoi, lorsque l'on entasse le charbon, les plus gros morceaux dans le bas et le menu par-dessus, on a soin de ménager des conduits de dégagement. Les meules sans cheminée ont de 4 à 5 mètres de diamètre et 1 mètre à $1^{m},50$ de hauteur; elles sont établies sur une aire en poussier de coke. On recouvre le tout de paille, de brindilles et de terre humide ou de mottes de gazon; on allume le feu par une ouverture de 20 à 25 centimètres ménagée à cet effet; la carbonisation dure quatre à cinq jours. Au bout de ce temps, on éteint le feu en l'arrosant d'eau; le rendement en coke est de 40 à 50 pour 100 de la houille employée.

Les meules avec cheminées sont disposées circulairement autour d'une cheminée en briques réfractaires (voyez fig. 11). A l'intérieur de la meule, on laisse des vides sur toute la circonférence; mais la partie qui doit être au-dessus de la meule n'en

comporte pas et se ferme avec un couvercle en tôle. Cette cheminée servira pour toutes les carbonisations successives. La houille est disposée sur une hauteur de $1^m,50$ à 2 mètres autour de la cheminée; on a soin de mettre les morceaux de plus en plus gros en allant vers le centre et en les inclinant vers l'intérieur. On ménage, de distance en distance, des conduits. La couverture se fait, comme pour les meules sans cheminées, en paille, feuilles, brindilles et terre. On opère l'allumage par le centre, soit en faisant du feu en haut et autour de la cheminée, soit en jetant au fond de cette der-

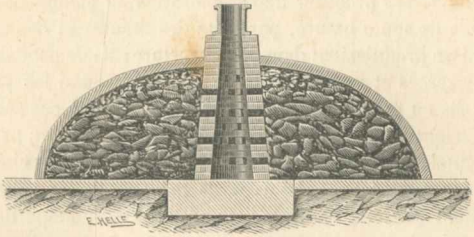


Fig. 11. — Meule à carboniser la houille.

nière des branchages ou du charbon enflammés. Au début, il sort une fumée abondante, puis des flammes dont la disparition subséquente fait reconnaître que la carbonisation est terminée. On pose alors le couvercle sur la cheminée, on bouche soigneusement les vides qui ont pu se produire dans la couverture et on laisse refroidir. La carbonisation dure de deux à dix jours, selon la grandeur des meules; celles-ci contiennent de 10 à 30 tonnes de houille. Lorsqu'on enlève le coke, on l'éteint avec de l'eau; on en peut également jeter par la cheminée et l'on prétend que cette pratique facilite la désulfuration du coke. Le rendement en coke peut atteindre 60 à 65 pour 100.

Les tas ne sont que des meules rangées l'une à côté de l'autre; des cheminées sont ménagées de distance en distance au moyen de pieux verticaux que l'on enlève après la construction. Le feu se

met sur toute la longueur à des intervalles à peu près égaux à ceux des cheminées. Le rendement ainsi obtenu n'est pas avantageux; la quantité de coke ne dépasse pas 40 à 50 pour 100 de la houille employée.

Carbonisation en fours. — La fabrication du coke ayant toujours lieu aux mêmes points et sur les mêmes soles, on dut apporter bientôt aux anciennes méthodes de carbonisation des perfectionnements en vue d'améliorer la qualité du coke, d'augmenter le rendement et, comme nous le verrons, d'utiliser les produits de la carbonisation. Les procédés de carbonisation en meules donnaient des ennuis de toute nature, par suite des fissures et des affaissements qui se produisaient dans la couverture; ils demandaient des ouvriers exercés et une surveillance continue; aussi les premiers fours ont-ils eu évidemment pour but de remédier à ces accidents.

Ils étaient tout d'abord formés simplement de murs parallèles entre lesquels on entassait le charbon en réservant des cheminées de distance en distance; des regards ménagés le long des murs permettaient de laisser entrer l'air nécessaire; à la partie supérieure il existait une couverture comme pour les meules. Ils ne donnaient guère de meilleurs résultats que ces dernières. On en arriva donc vite à faire des fours fermés dans lesquels il n'y avait pas de couverture à faire. Ces fours fermés peuvent être classés dans trois genres :

1° Fours qui n'utilisent pas les produits de la carbonisation et les laissent simplement se dégager dans l'atmosphère.

2° Fours qui utilisent les produits de la combustion pour le chauffage des fours eux-mêmes ou de générateurs.

3° Fours qui, plus rationnellement établis, non seulement utilisent les gaz provenant de la calcination, mais encore avant de les employer, soit pour chauffer des générateurs ou des fours, soit comme gaz d'éclairage, en séparent, dans des appareils spéciaux, les produits condensables tels que le goudron et les eaux ammoniacales.

Les fours de la première catégorie laissent beaucoup à dé-

sirer au point de vue du rendement; ils sont essentiellement composés d'une chambre en briques fermée à la partie supérieure par une voûte dans laquelle est pratiquée une ouverture pour le dégagement du gaz. A la base, on ménage une ou deux portes que l'on ferme soit avec des plaques de fonte ou tôle, soit par une maçonnerie provisoire.

Tels sont les anciens fours rectangulaires de Glowitz, Sarrebruck, employés aussi dans le Northumberland; ils mesuraient 2 mètres à $2^{m},50$ de large, 12 à 20 mètres de long, $1^{m},50$ de hauteur. Des regards établis sur la longueur permettaient de régler la marche du feu. Les cokes obtenus étaient de bonne qualité, le rendement n'était que de 500 à 550 kilogrammes de coke par mètre cube de houille.

Quelquefois on établissait les fours en forme de fours de boulanger avec des carneaux qui en faisaient le tour et laissaient entrer l'air de distance en distance : tels sont les fours employés dans l'est, à Sarrebruck, en Lorraine. Ou bien encore, on accolait plusieurs chambres carrées dans un seul massif et l'on arrivait à des dépenses d'établissement moins élevées et à moins de perte de chaleur.

Les fours de la deuxième catégorie sont déjà plus rationnels puisqu'ils utilisent les produits de la carbonisation perdus dans les systèmes précédents. Ces produits représentent environ 30 pour 100 de la houille convertie en coke et, comme ils sont composés d'hydrogène et de carbone, ils sont susceptibles de fournir au moins autant de chaleur qu'un poids égal de charbon.

Tels sont les fours de Mathei qui envoient les matières volatiles brûler sous des générateurs ou griller des minerais; les fours de Marsilly et de Jones qui les emploient à chauffer la houille même qu'il s'agit de carboniser, en les brûlant sous la sole; les fours Fromont qui, comme ceux de Gendebien, sont réunis deux à deux et superposés; les fours Smet, Dulait, Coppée, avec compartiments disposés à côté l'un de l'autre. Les gaz de l'un chauffent les murailles de l'autre.

Dans tous ces fours, le coke est difficile à défourner ; les ouvriers, chargés de ce travail, brisent les morceaux de coke incandescent et produisent beaucoup de déchet ; aussi plusieurs constructeurs ont-ils cherché à diminuer cette main-d'œuvre et cette perte, soit par des moyens mécaniques, tels que des repoussoirs ou des crochets râbles mus mécaniquement, soit par des dispositifs spéciaux dans lesquels le coke sort par le bas du four.

Au premier type, se rapportent les fours horizontaux Pauwels et Dubochet (fig. 12), au second, les fours Appolt et les fours inclinés Pauwels et Dubochet.

Les fours Appolt sont groupés au nombre de dix ou douze dans un massif vertical. Chacun des fours est formé d'une sorte de cuve à doubles parois entre lesquelles passent les produits volatils ; ils y sont brûlés au moyen d'une introduction d'air pris sous les fours ; chacune de ces cuves mesure 45 centimètres sur $1^{m},24$ et 4 mètres de profondeur. Au-dessous de tout le massif existe une galerie dans laquelle circulent des wagonnets qui reçoivent le coke produit. Au-dessus des fours existe une double voie de rails sur laquelle se meuvent des wagons à fond mobile qui amènent la houille ; des plaques de fer ferment le four en haut et en bas.

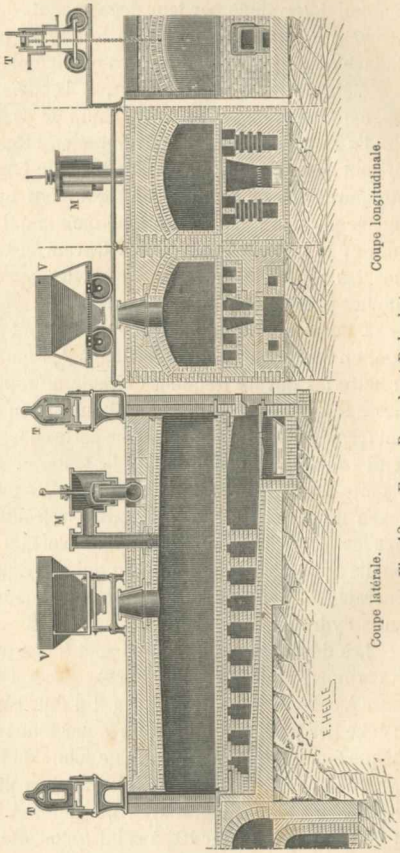
Chaque four contient 1250 kilogrammes de houille et les charges ont lieu toutes les deux heures, de telle sorte que, la carbonisation durant vingt-quatre heures, toutes les deux heures on vide et recharge un four.

Ces fours, bien que leur établissement revienne à un prix assez élevé (15 000 fr.), ont l'avantage de rendre 62 à 70 pour 100 de coke sans déchet, puisque le défournement s'opère sans main-d'œuvre par simple descente du coke, lorsqu'on ouvre la porte inférieure. Ils produisent 12 000 kilogrammes de coke par vingt-quatre heures.

La troisième catégorie de fours à coke comprend les fours qui, utilisant les gaz produits pendant la carbonisation, comportent en même temps des dispositifs qui permettent de recueillir les matières condensables.

Tous les fours du deuxième type peuvent être transformés pour cet usage et aucun four spécial ne serait, à proprement parler, à classer ici, si des types particuliers de fours dans lesquels on recueille ces produits n'avaient été établis en vue de ce résultat.

Ce fut Knab qui propagea le plus cette idée très rationnelle, mais qui présente cependant, dans la pratique, certains inconvénients qui l'ont fait quelquefois abandonner : le gaz est moins abondant et moins riche que celui des cornues de distillation des usines à gaz, et on recueille également moins de goudron et d'ammoniaque. Pour obtenir le plus de produits possible, il faut également ajouter au matériel ordinaire un dispositif qui enlève les gaz au fur et



Coupe latérale. Coupe longitudinale.

Fig. 12. — Fours Pauwels et Dubochet.

qu'ils sont appliqués au cassage du coke, prennent le nom de casse-coke. Parmi les plus recommandables, nous devons citer les casse-coke Arpé, Eichelbrenner, Verdier, Chevalet, Durand et Chapitel. Les qualités exigées de ces appareils sont de donner un rendement élevé pour la même force dépensée et de produire peu de déchet. Leur description nous entraînerait hors du cadre de cet ouvrage.

III

LE CHAUFFAGE

On peut définir le chauffage : « L'utilisation de la chaleur produite par la combustion. » Il y a lieu de distinguer deux applications très différentes du chauffage : le chauffage domestique et le chauffage industriel; car, bien que tous les deux aient la même source, les modes d'emploi et le but à atteindre dans chaque cas sont si distincts, que cette division est absolument justifiée. Les appareils sont différents, ainsi que la manière de diriger la combustion. Dans le chauffage domestique, on cherche à maintenir fixe la température de l'air dans lequel nous vivons; tandis que, dans le chauffage industriel, on soumet à l'action de la chaleur, soit les parois de vases métalliques, soit des matières auxquelles on veut faire subir des modifications physiques ou chimiques.

Dans les deux cas, on cherche naturellement à tirer le meilleur parti possible de la chaleur produite par la combustion.

La chaleur s'obtient en brûlant du bois, de la tourbe, du lignite, de la houille, de l'anthracite, du coke, de la tannée ou du charbon aggloméré, selon les circonstances et les conditions locales. Nous ne nous occuperons que de la houille et du coke, qui, du reste, représentent, dans nos pays, les combustibles les plus économiques.

La proportion utilisée de la chaleur produite par la combustion

de la houille et du coke est excessivement variable, selon les cas. Le rendement peut varier de 1 à 10 dans une même application avec des appareils différents, aussi bien dans le chauffage domestique que dans le chauffage industriel. Il y a donc un grand intérêt à rechercher non seulement un bon combustible, mais aussi de bons appareils pour le brûler. Ajoutons que cela ne suffit pas encore et qu'il faut de plus savoir le faire brûler. La manière de conduire le feu a une très grande importance, puisque, dans une même chaudière, deux chauffeurs d'habileté différente peuvent produire une même quantité de vapeur avec 50 ou 100 kilogrammes de houille.

Nous allons passer en revue les différents genres d'appareils usités pour brûler la houille et le coke, d'abord pour le chauffage domestique, puis pour le chauffage industriel, en indiquant les modèles qui utilisent le mieux la combustion et en rappelant les chiffres de consommation, pour montrer les résultats obtenus et ceux que l'on devrait atteindre théoriquement.

Les indications que nous avons pu donner plus haut relativement aux puissances calorifiques et aux méthodes de calcul de la chaleur et de la température de combustion nous fournissent les quantités de chaleur disponibles. Nous verrons successivement ce que rendent dans la pratique les appareils de chauffage actuels.

Chauffage domestique.

La température de l'air qui nous entoure varie entre — 30° et + 40°, et la température du corps humain est de + 37° à + 38°. Comme le corps tend toujours à se mettre en équilibre avec le milieu qui l'entoure, nous sommes obligés, *lorsque nous sommes au repos,* d'élever la température de l'air ambiant, lorsqu'elle s'abaisse au delà d'une certaine limite. Cette température limite, au-dessous de laquelle nous ne pouvons vivre sans que les fonctions des organes soient rendues difficiles, varie entre 10° et 20°, selon le genre d'occupations et les habitudes. On peut admettre

qu'en général, il faut maintenir une température de 10° à 12° dans les locaux où le corps est en mouvement, comme dans certains ateliers;

12° à 14°, lorsque l'on y travaille assis;

14° à 16° dans les appartements;

16° à 18° dans les bureaux, magasins et lieux publics.

La température de 18° à 20° ne se maintient que dans certains cas spéciaux, dans quelques hôpitaux, par exemple.

Cette question du degré de la température a non seulement de l'importance au point de vue du bien-être, mais encore au point de vue de la santé. En effet, lorsque la température s'abaisse au-dessous d'un certain minimum, nos divers organes ne fonctionnent plus régulièrement et, par suite, ne peuvent plus rendre un travail normal.

De tout temps on a reconnu la nécessité de maintenir la température des locaux habités dans certaines limites; mais c'est seulement depuis peu que l'on a étudié l'un des côtés de la question, qui est la conséquence même du chauffage; nous voulons parler de la *ventilation*. On ne peut, du reste, admettre scientifiquement, qu'il y ait chauffage sans ventilation; mais ce n'est que de notre temps qu'on a pensé à l'étudier, surtout pour les appartements privés.

Lorsque la température extérieure est élevée, nous ouvrons portes et fenêtres; l'air n'est pas vicié, puisqu'il se renouvelle rapidement; mais lorsque l'hiver arrive, nous consommons cet air par notre respiration d'abord, par nos foyers ensuite, en ayant grand soin de ne pas le renouveler, car celui qui viendrait le remplacer serait froid. Dans un local où peu de personnes respirent à la fois, quand l'air est vicié, on se contente de dire : il fait lourd, et l'on ouvre un peu la porte; mais lorsqu'une assemblée est nombreuse, comme dans un théâtre, ou quand l'air est vicié par des émanations nuisibles, comme dans les hôpitaux, il faut ventiler sous peine d'asphyxie. Aussi est-ce dans les monuments publics, théâtres et hôpitaux, que l'on a commencé à appliquer des mé-

thodes rationnelles de chauffage et de ventilation. Dans nos maisons, nous continuons généralement à conserver le procédé préhistorique de ventilation : des courants d'air sous les portes. Cependant, le système actuel (si l'on peut appeler système un pareil moyen) est non seulement irrationnel, malsain, désagréable, mais encore très onéreux ; il est vrai qu'il a l'appui d'un certain nombre de préjugés.

Historique. — Comme nous le disions plus haut, on a reconnu de tout temps la nécessité du chauffage ; nous ne parlons pas, bien entendu, du feu nécessaire à la cuisson des aliments, pour laquelle l'emploi de la houille et du coke dans des appareils spéciaux est tout moderne.

Les premiers hommes, peuples pasteurs, faisaient sur le sol, au milieu de leurs tentes, un feu autour duquel ils préparaient leurs aliments et se chauffaient. Lorsque de nomades ils devinrent sédentaires et construisirent des huttes fixes, le même procédé se perpétua, et le premier dispositif destiné à chauffer les locaux habités semble avoir été une imitation de ce genre de feu primitif.

Les Hébreux employaient l'arula, les Romains le foculus, genre de brasero encore usité dans certains pays du Midi, l'Italie, l'Espagne. C'était un vase de métal plus ou moins orné et souvent portatif, en tout cas pouvant être enlevé l'été, dans lequel le charbon brûlait en laissant répandre dans l'atmosphère les produits de la combustion.

Lorsque la civilisation se perfectionna, les habitations devinrent plus closes. Les maisons s'élevèrent au-dessus d'un rez-de-chaussée. Il en résulta que la fumée, ne pouvant s'échapper directement sous le toit, il fallut établir des foyers disposés pour l'évacuer par des conduits spéciaux. Les Romains appelaient ce genre d'appareils *hypocaustum*. L'hypocauste était organisé pour chauffer les appartements, les salles de bains, par circulation d'air chaud sous le sol des salles et le long des parois des murailles ; un foyer sans grille était disposé dans un point quelconque en dehors des salles, et la fumée circulait sous les dalles, soutenues par des piliers très courts

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

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

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

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

thodes rationnelles de chauffage et de ventilation. Dans nos maisons, nous continuons généralement à conserver le procédé préhistorique de ventilation : des courants d'air sous les portes. Cependant, le système actuel (si l'on peut appeler système un pareil moyen) est non seulement irrationnel, malsain, désagréable, mais encore très onéreux ; il est vrai qu'il a l'appui d'un certain nombre de préjugés.

Historique. — Comme nous le disions plus haut, on a reconnu de tout temps la nécessité du chauffage ; nous ne parlons pas, bien entendu, du feu nécessaire à la cuisson des aliments, pour laquelle l'emploi de la houille et du coke dans des appareils spéciaux est tout moderne.

Les premiers hommes, peuples pasteurs, faisaient sur le sol, au milieu de leurs tentes, un feu autour duquel ils préparaient leurs aliments et se chauffaient. Lorsque de nomades ils devinrent sédentaires et construisirent des huttes fixes, le même procédé se perpétua, et le premier dispositif destiné à chauffer les locaux habités semble avoir été une imitation de ce genre de feu primitif.

Les Hébreux employaient l'arula, les Romains le foculus, genre de brasero encore usité dans certains pays du Midi, l'Italie, l'Espagne. C'était un vase de métal plus ou moins orné et souvent portatif, en tout cas pouvant être enlevé l'été, dans lequel le charbon brûlait en laissant répandre dans l'atmosphère les produits de la combustion.

Lorsque la civilisation se perfectionna, les habitations devinrent plus closes. Les maisons s'élevèrent au-dessus d'un rez-de-chaussée. Il en résulta que la fumée, ne pouvant s'échapper directement sous le toit, il fallut établir des foyers disposés pour l'évacuer par des conduits spéciaux. Les Romains appelaient ce genre d'appareils *hypocaustum*. L'hypocauste était organisé pour chauffer les appartements, les salles de bains, par circulation d'air chaud sous le sol des salles et le long des parois des murailles ; un foyer sans grille était disposé dans un point quelconque en dehors des salles, et la fumée circulait sous les dalles, soutenues par des piliers très courts