Les gazogènes et l'économie du combustible / Aimé Witz

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque universitaire Vauban

BnF Gallica

Witz, Aimé (1848-1926). Auteur du texte. Les gazogènes et l'économie du combustible / Aimé Witz. 1921.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :
- La réutilisation non commerciale de ces contenus ou dans le cadre d'une publication académique ou scientifique est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source des contenus telle que précisée ci-après : « Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France » ou « Source gallica.bnf.fr / BnF ».
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service ou toute autre réutilisation des contenus générant directement des revenus : publication vendue (à l'exception des ouvrages académiques ou scientifiques), une exposition, une production audiovisuelle, un service ou un produit payant, un support à vocation promotionnelle etc.

CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

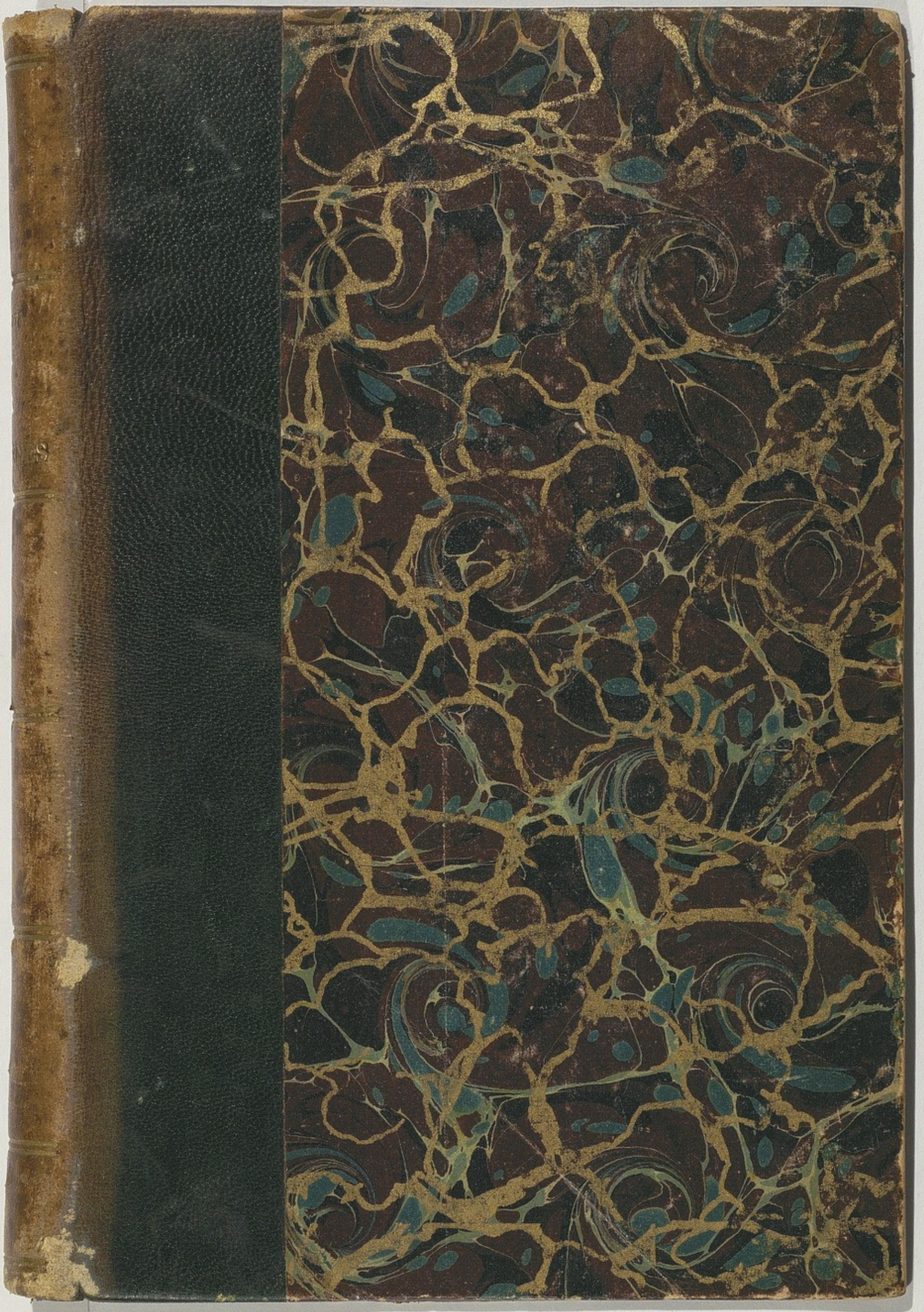
- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter **utilisation.commerciale@bnf.fr**.



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque universitaire Vauban

PEU.12.0210

UTILISATION DES COMBUSTIBLES
GAZÉIFIÉS-LIQUIDES-PULVÉRISÉS

ANCIENS ÉTABLISSEMENTS

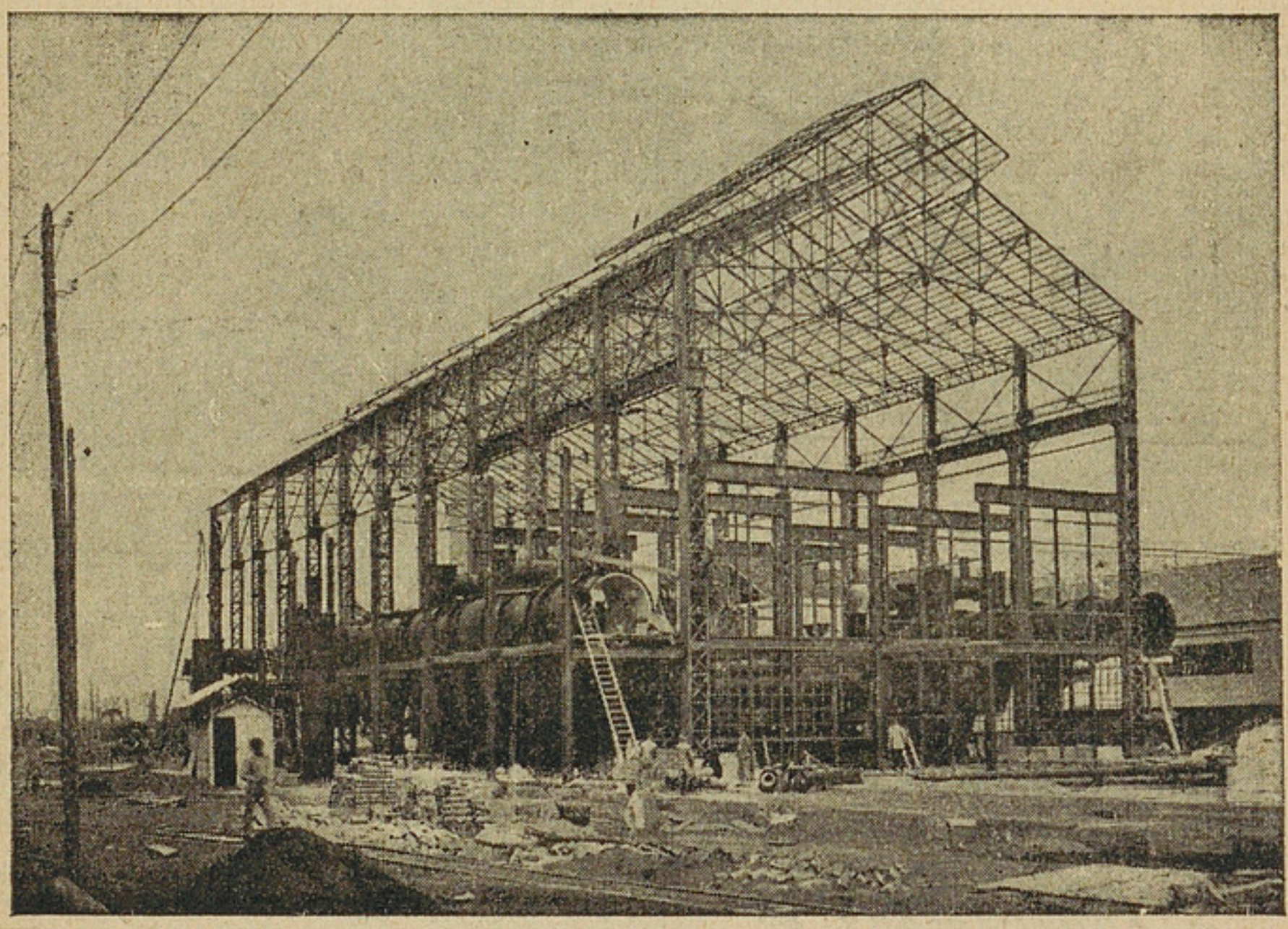
LOY & AUBÉ

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 2.000.000 de FRANCS

63, AVENUE DES CHAMPS-ELYSÉES, PARIS, (VIII)

TÉLÉP. PASSY 19-30, 31, 32 — ADRESSE TÉLÉG. LOBEFOURS-PARIS

ÉTUDE & ENTREPRISE COMPLÈTE
D'INSTALLATIONS MODERNES
POUR
MÉTALLURGIE-DISTILLATION DES COMBUSTIBLES
PRODUITS CHIMIQUES — CÉRAMIQUE — VERRERIE



FOURS — GAZOGÈNES
APPAREILS de MANUTENTION

SOCIÉTÉ ANONYME DES ANCIENS ÉTABLISSEMENTS

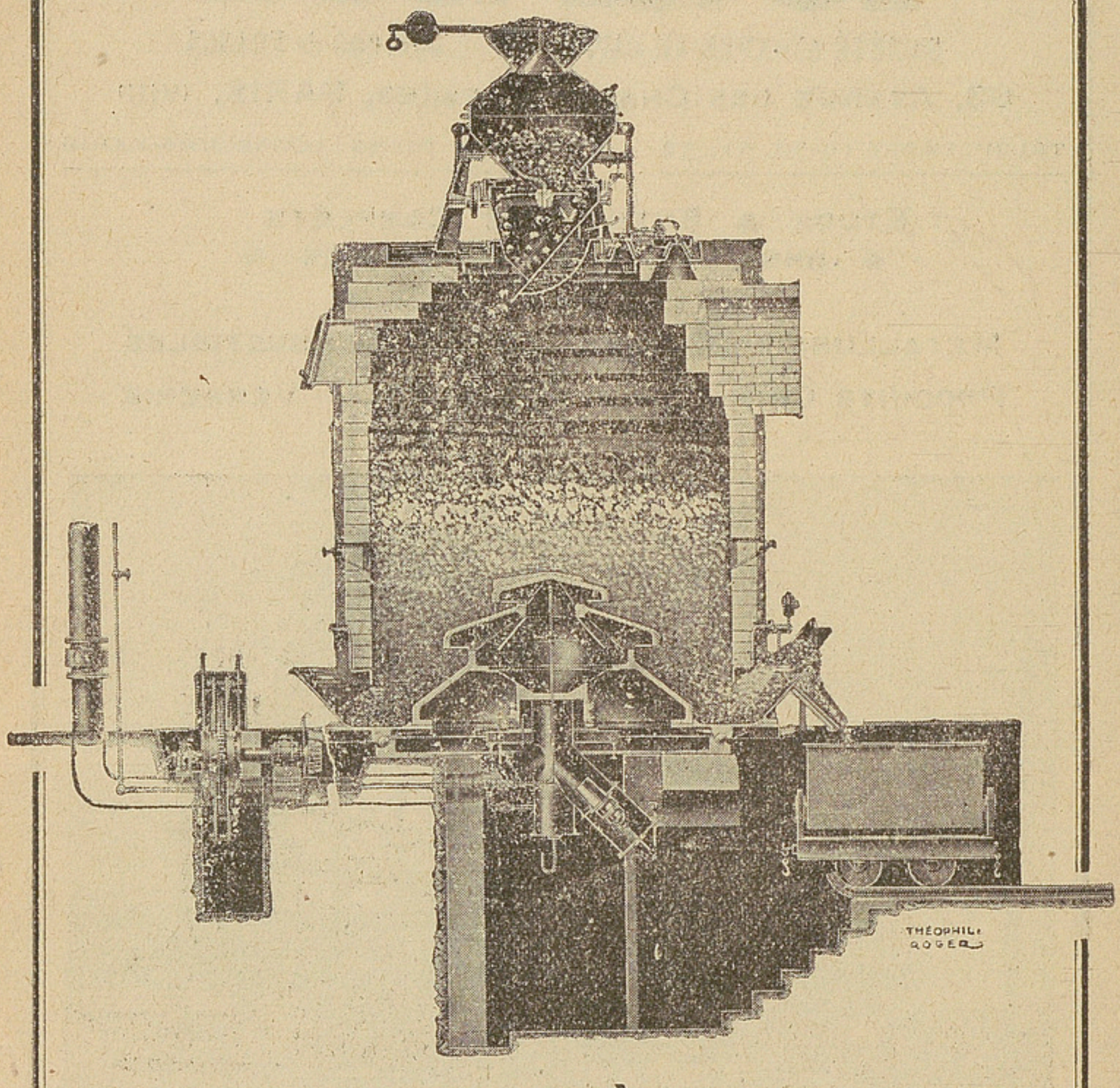
Chavanne-Brun Frères

56, RUE LAFFITTE — PARIS (IX^e)

Télép. CENTRAL 46-37 — Adr. Télégr. CHAVAN-BRUN-PARIS

FONDERIES ET ATELIERS DE CONSTRUCTION

A SAINT-CHAMOND et MONTBRISON (Indre) et à THIONVILLE (Moselle)



GAZOGÈNES

à chargement et décrassage mécaniques

Maximum de rendement - Minimum de main-d'œuvre

AVEC LA

Machine à Gazéifier " MORGAN "

(Voir description dans le présent ouvrage, page 279)

Pour paraître régulièrement à partir de Mars 1921.

Bibliothèque Professionnelle

Publiée sous la direction de M. RENÉ DHOMMÉE

INSPECTEUR GÉNÉRAL ADJOINT DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

120 volumes in-18 rais. (10,5 × 16,5) de 300 à 350 pages avec nombreux dessins.

Chaque volume se vend séparément de **6** à **8** francs.

Donner à chacun (apprenti, ouvrier, contremaître, employé) le moyen commode, sûr, d'acquérir les *connaissances pratiques*, les *tours de main* qui rendront son travail plus intéressant et plus rémunérateur, cela avec d'abondantes illustrations, sous une forme claire, en peu de mots, grâce à l'enseignement des *spécialistes* les plus autorisés, tel est le but de la *Bibliothèque professionnelle.*

Conçus dans un esprit essentiellement *pratique* (étude des matériaux, des produits et de l'outillage; explication raisonnée des procédés de travail les *meilleurs* et les plus *modernes*), pouvant facilement être mis à la poche, d'un prix très modéré, les *Manuels* de la Bibliothèque professionnelle constitueront le guide indispensable de tout travailleur intelligent et avisé. C'est dire qu'ils seront, aussitôt parus, dans toutes les mains.

Librairie J.-B. BAILLIÈRE et FILS

PARIS — 19, rue Hautefeuille — PARIS

Bibliothèque Professionnelle

Publiée sous la direction de M. RENÉ DHOMMÉE

INSPECTEUR GÉNÉRAL ADJOINT DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

Avec la collaboration des spécialistes les plus compétents :

MM. Lanave, Ing. A. M. — Maurer, Curchod, Cornet, prof. à l'Éc. d'élec. et de méc. ind. de Paris. — Lagardelle et Vincent chef des travaux aux Éc. prat. de Châlons et d'Agen. — Godeau, Gaschet et Bigerelle, dir. des Écoles prof. de Chartres, de Marmande et d'Auxerre. — Vauclin et Long, dir. des frigos du Havre. — Hamm et Guilvert, dir. et prof. aux Éc. décorat. de la Gironde et de Melun. — Leroux et Duchesne, dir. de l'Éc. de vannerie de Fayl-Billot. — Ferrand, de la dir. de l'Urbaine-Seine. — Angé, prof. Éc. sup. de Comm. de Paris. — Roblin, prof. à l'Éc. prof. du papier, etc., etc.

---

120 vol. in-18 raisin de 300 à 350 pages avec nombreux dessins.

Chaque volume se vend séparément de **6** à **8** francs.

I. — MANUELS DE L'ALIMENTATION

Boulangerie, pâtisserie, biscuiterie.
Boucherie.
Charcuterie, équarrissage.
Brasserie.
Confiserie, chocolaterie.
Cuisine.
Epicerie.
Industrie et comptabilité hôtelière.
Crèmerie (Lait, beurre, fromage).
Meunerie.
Conserves de viandes, salaisons. Conserves de fruits. Conserves de légumes.
Sucrerie, distillerie, liqueurs.
Vins, cidres, poirés, eaux gazeuses.

II. — MANUELS DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

Architecture.
Charpente en bois.
Charpente en fer.
Ciment, ciment armé.
Fumisterie, chauffage, ventilation.
Maçonnerie, ravalement.
Menuiserie, parquetage, treillage.
Métrage et vérification, arpentage.
Modelage, plafond, stuc.
Pavage, carrelage, mosaïque.
Peinture en bâtim., vitrerie, pap. peints.
Travaux publics (2 vol.).
Peinture en décors, filage, lettres.
Plomberie, installations hygiéniques, zinguerie, couverture.
Serrurerie, fer forgé.
Taille des pierres, marbrerie.
Cantonnier.

III. — MANUELS DES INDUSTRIES TEXTILES, DU VÊTEMENT ET DE LA MODE

Bonneterie.
Broderie mécanique, tulle, dentelle méc.
Dessin pour tissus, lecture, piq. du dessin.
Corderie, filet à la main, filet mécanique.
Filature. Tissage.
Passementerie, lacet, rubanerie.
Blanchissage, repassage.
Chapellerie en feutre, paille, soie. Modes.
Chemiserie, lingerie.
Coiffure.
Coupe, confection pour hommes
Couture.
Coupe, confection pour femmes.
Dentelle et broderie à la main.
Fleurs et plumes.
Mercerie.
Pelleterie, fourrures.

IV. — MANUELS DES INDUSTRIES D'ART

Bijouterie, joaillerie, orfèvrerie.
Boutonnerie, peignes.
Bronzes d'art.
Dessin d'ornement, composition décorative.
Dessin industriel.
Décoration du cuir, peinture sur étoffes.
Pyrogravure, enluminure. Peinture au pochoir, Cuivre et étain repoussés.
Gravure, ciselure, décor. des métaux.
Lutherie, pianos, orgues, accord.
Lunetterie, instruments d'optique.
Jouets.

V. — MANUELS DES INDUSTRIES DU PAPIER ET DU LIVRE

Cartonnage.
Commis papetier.
Imprimerie, typographie, clichage.
Lithographie.
Gravure, héliogravure, photogravure.
Photographie.
Reliure.

VI. — MANUELS DES INDUSTRIES DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT

Abatage des bois, sciage, cubage, sabots.
Balais, brosses, soufflets, cannes, emball.
Carrosserie, charron, peint. voit.
Ebénisterie, dorure, laque, marqueterie.
Industrie du liège.
Moulures. Encadrement.
Tapissier décorateur.
Tournage du bois, sculpture sur bois.
Tonnellerie, boissellerie.
Vannerie.

VII. — MANUELS DES INDUSTRIES CHIMIQUES, CÉRAMIQUE. etc.

Porcelaine. Briques, tuiles, produits réfractaires.
Couleurs et vernis.
Encres, cirages, colles.
Droguerie, herboristerie.
Fabrication des produits chimiques.
Industrie du gaz, appareillage.
Parfumerie.
Teinturerie, apprêtage.
Verrerie, cristal., miroit., grav. sur verre.

VIII. — MANUELS DES CUIRS ET PEAUX, DU CAOUTCHOUC

Bourrellerie, sellerie.
Caoutchouc, gutta-percha, gomme factice.
Chamoiserie, maroquinerie, gainerie.
Ganterie.
Cordonnerie.
Tannage, mégisserie, corroyage.

IX. — MANUELS DE MÉCANIQUE

Ajustage (3 volumes).
Armurerie.
Automobiles (2 vol.) : a) *Construction, différents types ;* b) *conduite, entretien.*
Machines (2 volumes) : a) *Description ;* b) *Conduite, entretien et montage.*
Machines marines. Constructions navales.
Chaudronnerie.
Chemins de fer (2 volumes).
Cycles, motocyclettes.
Constructions aéronautiques.
Horlogerie.
Instruments de chirurgie, orthopédie.
Mécanicien frigoriste.
Mécanique et tournage de précision.

X. — MANUELS D'ÉLECTRICITÉ

Electrolyse, galvanoplastie, fours électrique.
Installations électriques particulières.
Installations électriques industrielles.
Moteurs électriques. Traction électrique.
Dynamos, alternateurs. Stations centrales, transport d'énergie.
Construction de réseaux d'énergie.
Télégraphie, téléphonie, ord. et sans fil.
Appareils de mesures électriques.

XI. — MANUELS DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE

Aciéries.
Carrières, ardoisières, plâtrières.
Coutellerie, taillanderie.
Fabrique d'aiguilles, épingles, plumes.
Ferblanterie, lampisterie, poêlerie.
Forgeron.
Forges.
Hauts fourneaux et fonderies.
Maréchalerie, machines agricoles.
Mineur.
Modelerie.
Quincaillerie, clouterie, tréfilerie.

XII. — MANUELS DES PROFESSIONS COMMERCIALES

Assurances.
Administration commerciale rurale.
Banque.
Commission, exportation.
Vente et représentation commerciale.
Publicité commerciale
Transports (voie de terre, fer, eau, air).

Spécimen du plan résumé d'un des ouvrages
de la Bibliothèque professionnelle.

LE FORGERON

Par M. LAGARDELLE, chef d'at. Éc. nat. A. et M. de Châlons.

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE I. — La Forge.

But. — Forges diverses. — Bâti de forge métallique. — Différentes sortes de tuyères. — Soufflets. — Ventilateurs. — Aspirateurs de fumée. — Accessoires de la forge. Allumage, conduite et entretien du feu. — Position de la pièce à chauffer dans le feu. — Appréciation des différentes températures. — Nature et qualités des combustibles à employer à la forge. Forges portatives.

CHAPITRE II. — Le forgeage (généralités).

Matières premières employées à la forge : Fer et ses dérivés.
Règles de forgeage du fer et des aciers au carbone.
Recuit des pièces forgées. — Trempe. — Revenu après la trempe. — Exemples de trempe. — Cémentation. — Différents genres de travaux demandés au forgeron.

CHAPITRE III. — L'outillage.

Outillage mobile. — *Marteaux. — Outils tranchants. — Outils de chassage; — de perçage; — de rivetage; — d'étampage; — de torsion; — de gabariage. — Outils servant au maniement des pièces.*
Outillage fixe. — *Enclume, accessoires. Description et emploi.*
Outillage de vérification. — *Calibres divers. — Gabarits. — Equerres. — Pied à coulisse. — Niveau. — Fil à plomb. — Marbre. — Trusquin. — Cales en V. — Exemple de montage pour vérification d'une pièce de forge.*

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE I. — Principales opérations de forgeage.

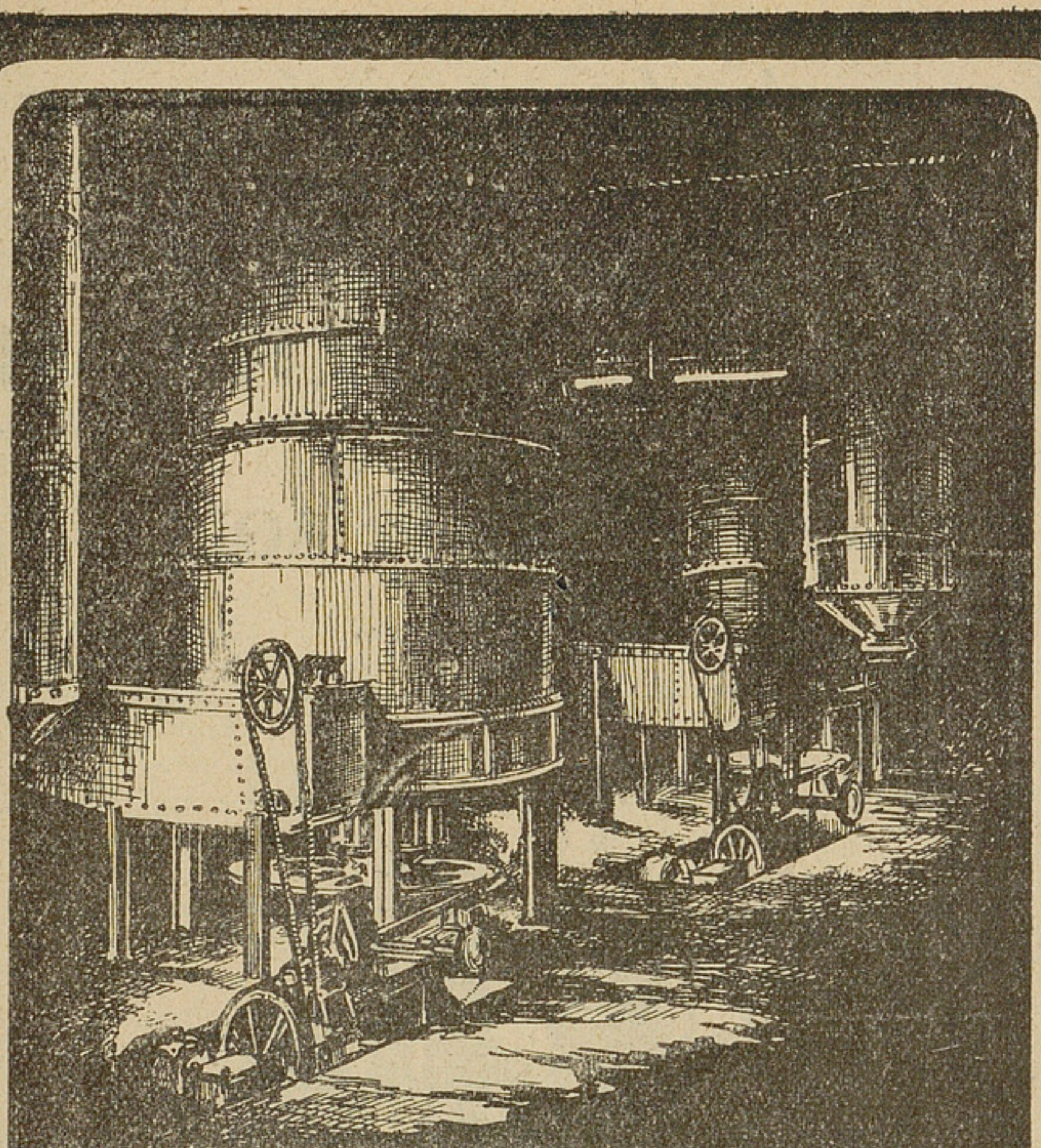
Etirage. — Chassage. — Mandrinage. — Perçage. — Coudes et épaulements. — Torsion. — Rivetage. — Emboutissage. — Soudures. — Brasage et soudures diverses. — Principes généraux sur le choix des échantillons, sur l'équivalence du poids ou volumes. — Tenue du forgeron et du frappeur.

CHAPITRE II. — Application des principes de forgeage.

Assouplissement de la main. — Emploi du marteau seul. — Transformation d'une section carrée en section rectangulaire. — Emploi des marteaux pour l'ebauchage et des outils appropriés pour le finissage.
Fabrication des différentes pièces : *Prisme à base carrée de* 25 × 25 × 200. — *Cubes* : Clavettes, Tournevis, Ecrous. — Boulons. — Pitons. — Rivetage, emboutissage. — Modification des formes par refroidissement, etc.

CHAPITRE III. — Organisation de l'atelier.

Etablissement du prix de revient d'une pièce de forge.
Conseils sur l'organisation d'un petit atelier de forge.
Essais à chaud et à froid sur les fers et aciers.



GAZOGÈNES AUTOMATIQUES P. PARSY

UTILISANT TOUS LES COMBUSTIBLES INFÉRIEURS

Économie de combustible

Réduction de main-d'œuvre

APPLICATIONS *pour : Aciéries, Chauffage de chaudières*
Verreries, Céramiques, Usines à gaz, etc.
Installations complètes de centrales

Demandez-nous notre notice spéciale

FOURS MODERNES POUR TOUTES INDUSTRIES

GAZOGENES AUTOMATIQUES P PARSY
ANCIENS ETABLISSEMENTS

PARSY

ZIELINSKI Ingr E.C.P. PARSY et Cie
36 Avenue HOCHE . PARIS Elysees 60-20 60-21

Publicite MESTRE 14 Bd Montmartre PARIS

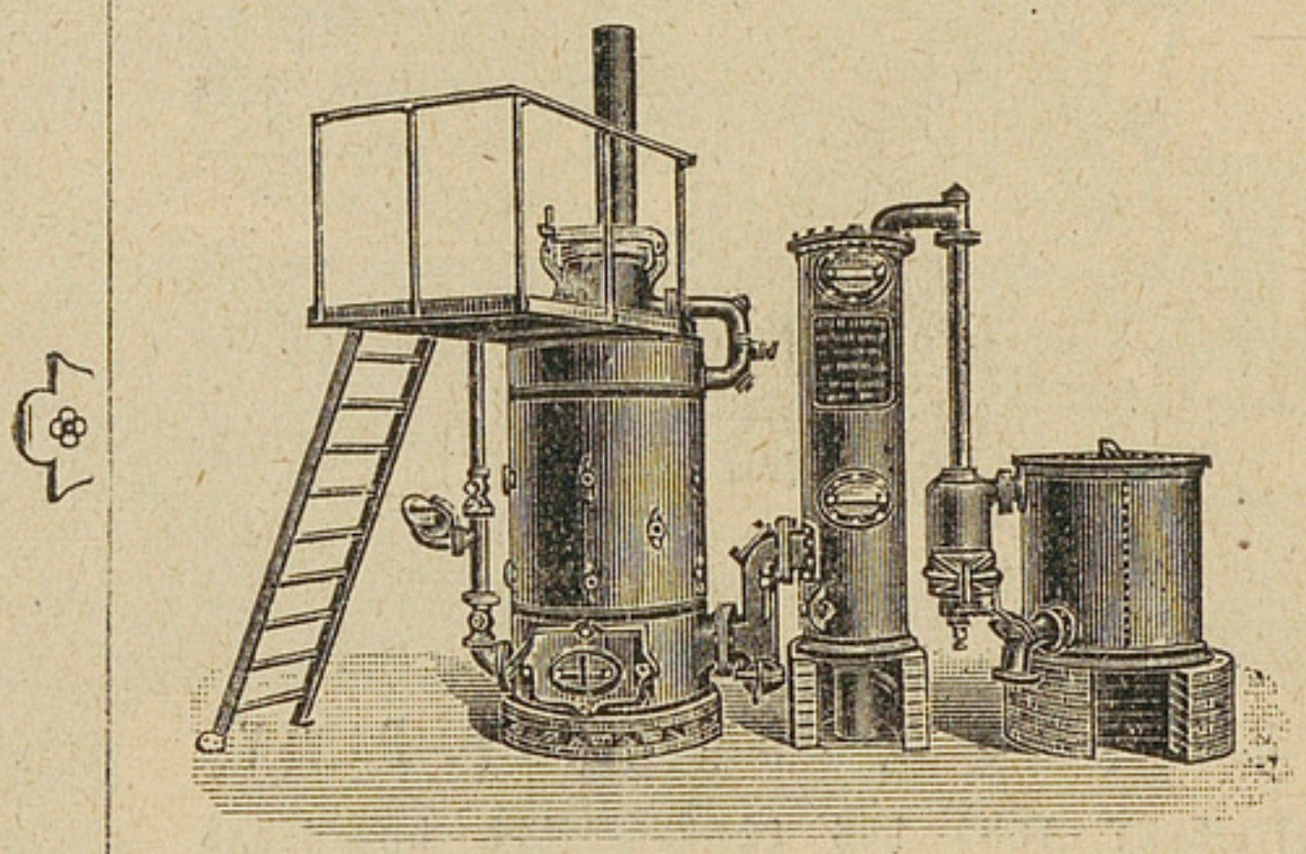
SOCIÉTÉ FRANÇAISE

de Matériel Agricole et Industriel

VIERZON

GAZOGÈNE A BOIS

Breveté S. G. D. G.



Utilisant le bois en rondin, déchets, chûtes, croûtes
Copeaux de machines-outils, sarments de vignes
Les déchets de liège, la tannée sèche, etc.

CHAUFFAGE DE FOURS :

Consomme : **1** *kgr. de bois sec*

par cheval-heure

Supprime les Goudrons

NOMBREUSES RÉFÉRENCES

LES GAZOGÈNES

ET L'ÉCONOMIE DU COMBUSTIBLE

ENCYCLOPÉDIE

de

MÉCANIQUE APPLIQUÉE

Publiée sous la direction de M. Léon LECORNU

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE ET A L'ÉCOLE DES MINES.

---

30 volumes in-8 (16×25) de 300 à 600 pages, avec nombreuses figures.

Sous le patronage de

la **Société des Ingénieurs Civils de France.**

Principes généraux de la mécanique.	M. Jouguet, prof. à l'Éc. des Mines.
**Dynamique des solides*	M. Reveille, répét. Éc. Polytechn.
Hydraulique expérimentale	M. C. Camichel, prof. Fac. Sc. Toulouse.
Généralités sur les machines	M. Lecornu, membre de l'Institut.
Construction des machines	M. Batifoulier, dir. us. *Bon Marché.*
Machines-outils	M. Androuin, ingénieur A. M.
Théories des mécanismes	M. Hartman, prof. Éc. Polytechnique..
**Horlogerie*	M. Andrade, prof. Fac. Sc. Nancy.
Moteurs hydrauliques	MM. Rateau, Eydoux *et* Gariel.
**Chaudières et condenseurs*	M. Sauvage, prof. Éc. des Mines.
Moteurs à vapeur alternatifs	M. Lelong, ing. gén. de la Marine.
**Turbines à vapeur*	M. Poincet, prof. à l'Éc. du G^{nie} M^{time}.
**Moteurs à combustion interne*	M. Paul Dumanois, ing. du G^{nie} M^{time}.
Machines à froid	M. Marchis, prof. à la Sorbonne.
Ventilateurs et compresseurs d'air	M. Crussard, ing. en chef des Mines.
Locomotives	M. Lacoin, prof. à l'Éc. des P^{ts} et C^{ées}.
Voitures et wagons	M. Leboucher, ing. C^{ie} du Midi.
Automobiles	M. H. Boyer-Guillon, du Cons. A. M.
Aérostation	M. le C^{nel} Paul Renard,
Aviation	M. Soreau, prof. au Cons. des A. et M.
**Balistique intérieure*	M. le G^{al} Gossot, insp. artillerie, *et*
**Balistique extérieure*	M. Liouville, ing. des Poudres.
**Théorie du navire, constr. navales.*	M. Doyère, dir. de l'Éc. du G^{nie} M^{time}.
**Sous-marins et torpilles*	M. Laubeuf, membre de l'Institut.
**Mécanique agricole*	M. Ringelmann, prof. Inst. Agron.

PEU.12.0210

Aimé WITZ

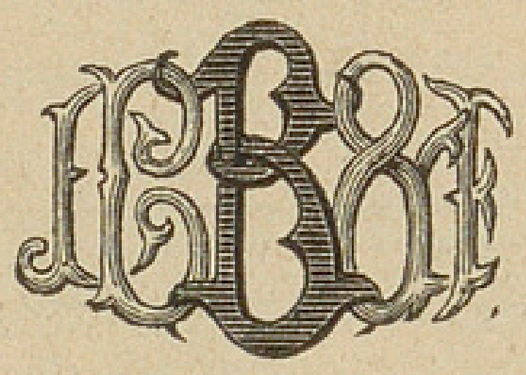
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
DOYEN HONORAIRE DE LA FACULTÉ LIBRE DES SCIENCES DE LILLE
CORRESPONDANT DE L'INSTITUT

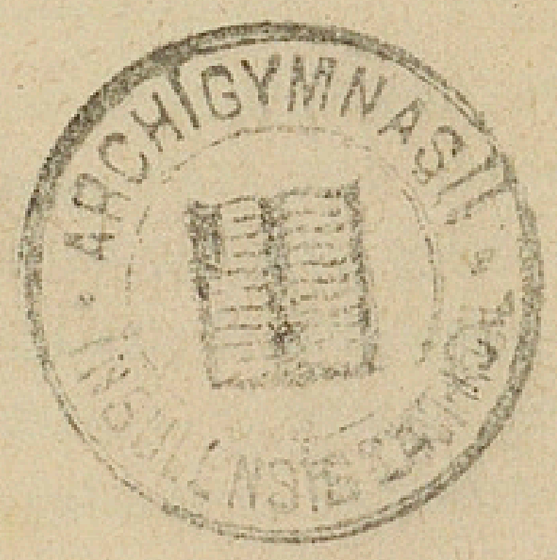
LES GAZOGÈNES

et l'Économie du Combustible

Avec 100 figures dans le Texte

L'Histoire des Gazogènes.
Les Combustibles et leur combustion.
Les types de Gazogènes et leur théorie. — Les Gaz de Gazogène.
La Monographie des Gazogènes.
Les Applications à l'Eclairage, au Chauffage
et à la Production de puissance motrice.





PARIS
LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS
19, Rue Hautefeuille, 19

1921

Tous droits réservés

Publications techniques de l'Auteur

La Machine à Vapeur, 3e édition (1914).

Thermo dynamique à l'usage des ingénieurs, 3e édition (1905) ;
Théorie des machines thermiques, 2e édition (1911).

Les Moteurs à combustion interne (1913).

Traité théorique et pratique des Moteurs à gaz et à pétrole,
4e édition (1904) en 2 volumes. *(Epuisé)*.

La dernière évolution du Moteur à gaz (1910).

La Crise du Combustible et ses remèdes (1920).

DÉFINITIONS PRÉLIMINAIRES

Quelques définitions s'imposent à l'entrée de cette étude dans laquelle nous aurons à mentionner, dès la première page, des choses sur la désignation desquelles l'accord n'est pas encore complet entre les auteurs qui ont traité de la matière.

Qu'appelons-nous un gazogène ?

Quand on veut trouver le sens d'un mot, on ouvre un dictionnaire. Or, voici ce que je lis au mot gazogène, dans la 64e édition du petit Larousse illustré de 1911 : « Etymologie *gaz*, et verbe grec *gennan*, signifiant engendrer. Se dit de tout appareil qui sert à fabriquer l'eau de Seltz artificielle. » Cette définition ne donne pas à mon esprit la satisfaction qu'il cherchait, attendu que je n'ai aucunement l'intention de m'occuper de ce genre d'appareils. Mais mes yeux remontent vers le mot précédent, et je trouve : « *Gazofacteur*, appareil propre à gazéifier la houille. » Pour le coup, j'y suis ; c'est aux gazofacteurs que s'appliquera ce petit livre, et il devrait en porter le titre. Toutefois, si j'inscrivais ce mot en tête de l'ouvrage, je romprais avec une tradition déjà bien établie ; comme il est sage d'éviter autant que possible de se singulariser, même en compagnie d'un homme répandu dans le monde comme Larousse, je penserai au gazofacteur, mais écrirai gazogène.

Creusons davantage l'idée à laquelle nous venons de nous arrêter. Ce n'est pas seulement de la houille que nous chercherons à gazéifier : nous essaierons aussi de traiter le bois

la tourbe, la tannée, la bagasse, le marc de raisin, le lignite et tous autres combustibles, voire même les gadoues, c'est-à-dire les reliefs de la vie civilisée, et les ordures ménagères des grandes villes. Qu'il soit donc entendu que ces gazofacteurs de toute espèce rentrent tous, quels qu'ils soient, dans nos gazogènes.

Pénétrons plus avant encore dans la question. Les appareils dont nous nous occuperons sont ceux qui transforment toute sorte de combustibles en gaz, ceux-ci étant eux-mêmes combustibles : cela nous débarrasse définitivement de l'eau de Seltz. Le phénomène de gazéification que nous considérerons sera de nature physique ou chimique, mais d'ordre thermique, combustion ou dissociation effectuée au contact de corps incandescents, avec ou sans emprunt d'énergie à une source extérieure : nous embrassons ainsi tout l'ensemble des gazogènes (1). Du moment que nous spécifions l'ordre thermique nous écartons les carburateurs à froid et les appareils à acétylène ; ce n'est peut-être pas très justifié, car la chaleur intervient tout de même dans le fonctionnement des appareils susdits ; mais il faut nous borner et nous en tenir à un programme étroitement délimité.

Multiples sont les procédés de gazéification ; toutefois ils peuvent se ramener à deux types distincts, qu'il importe de caractériser et de spécifier dès le début de notre étude. Les houilles et la plupart des combustibles sont formés de mélanges et de combinaisons de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote, diversement associés, qui réagissent les uns sur les autres sous l'influence de la chaleur, quand on les porte à une température élevée. En chauffant suffisamment le combustible, on donne à ces transformations le moyen de se produire : il en résulte un départ de produits volatils ; on dit qu'ils distillent. Un produit solide reste : c'est du coke. Cette opération est désignée par le double nom de *distillation* ou de cokéfaction.

---

(1) Un auteur bannit de sa définition du gazogène les appareils qui empruntent de l'énergie à une source extérieure ; en bonne logique, il n'aurait pas dû admettre dans sa classification les gazogènes Dowson, ni les gazogènes soufflés et aspirés, qui n'y trouvent plus de place.

Elle fournit de l'hydrogène, des hydrocarbures et de l'oxyde de carbone, gaz riches en calories, et de l'anhydride carbonique, de l'oxygène, de l'azote et de la vapeur d'eau, éléments incombustibles ; il se dégage en outre des carbures condensables, goudrons, benzols, etc. C'est par distillation que l'on procède dans les usines à gaz et en métallurgie, dans les cokeries, constituées par les fours dits à coke.

La distillation, accompagnée de dissociations et de changements d'état, absorbe de la chaleur par quelques phénomènes alors qu'elle en dégage par d'autres ; il y a compensation plus ou moins exacte, mais, si l'on fait état des pertes de chaleur, inséparables d'un travail de cette nature, l'opération est généralement endothermique dans sa totalité.

Il faut lui fournir de l'énergie calorifique.

Celle-ci effectue un départage entre les éléments solides, liquides et gazeux du combustible : ce triage donne d'une part le combustible gazeux, qui est le produit cherché du gazogène, et un résidu solide, lui-même encore combustible, qui se prête de nouveau à une opération d'un autre genre, à laquelle nous réservons en France le nom spécialisé de *gazéification* (1).

Distiller et gazéifier, voilà donc les deux termes extrêmes de la série des opérations ; ils diffèrent essentiellement l'un de l'autre, parce que le premier tire du combustible ce qui s'y trouve, alors que le second introduit dans le travail un élément étranger qui est de l'air, ou bien de la vapeur d'eau, en faisant naître ou bien de l'oxyde de carbone, par combustion incomplète, ou bien de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone par dissociation de l'eau et réaction concomitante. On fait usage à cet effet du coke résidu de la distillation, ou d'un charbon riche en carbone fixe, tel que l'anthracite.

Mais il se présente, comme bien on pense, entre ces deux termes extrêmes, des termes moyens plus ou moins voisins de l'une ou de l'autre manière de faire, participant dans une me-

---

(1) Les Allemands ont créé deux mots, que je leur envie, pour différencier la distillation de la gazéification, tout en faisant ressortir la connexité qui les lie : ces deux sont *Entgasung* et *Vergasung*, dont l'opposition des préfixes est significative.

sure déterminée d'un système ou de l'autre, d'où résulte une variété de produits portant diverses dénominations. Nous serons amenés à parler de ces noms et à les définir.

La distillation fournit des gaz *riches*, connus de tout le monde sous la spécification de gaz d'éclairage, de gaz de ville, de gaz de houille, de gaz de pétrole ou autre. La gazéification développe, avec l'air seul, du gaz à l'air (dit aussi gaz Siemens), réellement *pauvre* et souvent qualifié par cette épithète de misère ; avec l'eau seule, elle donne le gaz à l'eau, assez riche ; avec les deux, air et eau, on obtient le gaz *mixte*, souvent encore assez pauvre pour qu'on le dise. La distinction entre ces divers produits repose surtout sur leur pouvoir calorifique, c'est-à-dire sur le nombre de calories correspondant à la combustion complète du kilogramme ou du mètre cube ; mais on les distingue aussi par leur composition déterminée par une analyse chimique.

Mais il y a d'autres gaz encore, car il existe, à côté des gazofacteurs proprement dits, d'autres appareils qui ne font du gaz qu'accessoirement.

Expliquons-nous sur ce dernier point.

Le vrai gazofacteur n'a pas d'autre but, ni d'autre fonction que de fabriquer un gaz combustible ; sa raison d'être, c'est de remplacer le solide, capable de brûler, par un gaz d'un emploi plus avantageux, se consumant sans produire de cendres, ni de scories, se prêtant à un meilleur réglage des réactions, permettant de développer des températures plus élevées par une localisation plus intense de ses effets, assurant un rendement supérieur, directement utilisable dans des moteurs dits à combustion interne, en vue de développer de la puissance motrice dans des conditions souvent remarquables. Les avantages susdits, réalisés dans le chauffage, l'éclairage et la génération du travail, sont tels, qu'ils compensent très largement les frais et les pertes occasionnés par la transformation du combustible en produits gazeux. Cette transformation procure du reste encore un autre bénéfice, qui consiste à recueillir des sous-produits précieux : essences et huiles diverses, goudrons et substances ammoniacales qui se perdent habituellement, quand la combustion est effectuée dans les foyers ordinaires.

Il existe d'autre part, dans l'industrie, des appareils destinés à produire des matières ou des articles spéciaux, qui donnent naissance subsidiairement à des choses qu'on ne cherchait pas et que souvent même, on ne s'attendait pas à rencontrer, que l'on dénomme pour cette cause des sous-produits ; parmi ceux-ci, il y a des gaz combustibles, analogues en tous points à ceux qui sortent des gazogènes. Tels sont les gaz de fours à coke appartenant à la catégorie des gaz riches de distillation, par leur origine et par leurs qualités ; les gaz de hauts-fourneaux, qui se rangent à côté des gaz à l'air ou des gaz mixtes, pauvres comme eux ; tels encore certains gaz s'échappant de fours spéciaux. Ces appareils ont été construits pour faire de la fonte de fer, du coke de métallurgie, des mattes cuivreuses, etc. ; ils donnent des gaz par surcroît, et ces fruits surérogatoires de leur fonctionnement ont une telle importance que, par exemple, le haut-fourneau occupe une place prééminente parmi les gazogènes.

L'histoire de ces appareils, que nous allons écrire maintenant, nous fera voir comment s'est produit ce fait inattendu et certainement inespéré.

LEXIQUE DE GAZÉIFICATION (1)

FRANÇAIS	ANGLAIS	ITALIEN	ALLEMAND
Anthracite	Anthracite	Antracita	Anthrazit.
Bois	Wood	Legno	Holz.
Briquette	Pressed coal	Mattonella	Press kohle.
Carbone	Carbon	Carbonio	Kohlenstoff.
Cendres	Ashe	Cenere	Aschen.
Chaleur de combinaison	Heat of combination	Calore de combinazione	Verbindungswaerme.
Charbon de terre	Hit coal	Carbone	Steinkohle.
Coke	Coke	Coke	Kok.
Combustible	Fuel	Combustibile	Brennstoff.
Combustion complète	Complete combustion	Combustione completa	Vollkommene Verbrennung.
Combustion incomplète	Imperfect combustion	Combustione incompleta	Unvollkommene Verbrennung.
Combustion (chaleur de)	Heat of combustion	Calore di combustione	Verbrennungswaerme.
Combustion (produits de la)	Products of combustion	Prodotti di combustione	Verbrennungs produkte.
Cornue à gaz	Retort	Storta	Retorte.
Cuve de gazogène	Producer body	Camera del generatore	Generatorschacht.
Dédoublement (prod. de)	Producte of disunion	Prodotto di decomposizione	Spaltungsprodukte.
Dégoudronner	To extract the tar	Separare il catrame	Entteeren.
Dissociation	Dissociation	Dissociazione	Zerfall.
Distillation	Distillation	Distillazione	Entgasung.
Distillation (cornue de)	Coking cylinder	Cilindro di distillazione	Schwelzylinder.
Distillation fractionnée	Fractional distillation	Distillazione frazionata	Absatzweise Destillation
Eau ammoniacale	Ammonia water	Acqua ammoniacale	Ammoniak wasser.

Endothermique (réaction).	Endotermic reaction.....	Reazione endothermica ..	Waermezehrendereaction
Exothermique (réaction) ..	Exothermal reaction.....	Reazione esotermica	Waermegebende reaction.
Epuration sèche.....	Dry purifier	Depurazione a secco	Trocken reiniger.
Four à coke.....	Battery of coke ovens	Batteria di forni da coke ..	Koksofenbatterie.
Gaz brûlé.....	Burnt gas	Gas combusto	Verbranntes gas
Gaz O	Oxygen	Ossigeno	Sauerstoff.
— CO^2	Carbon dioxyd.....	Anidride carbonica	Kohlensaeure.
— CO	Carbon monoxide	Ossido di carbonio	Kohlenoxyd.
— H	Hydrogen	Idrogeno	Wasserstoff.
— Az	Nitrogen	Azoto	Stickstoff.
Hydrocarbures.....	Hydrocarbons	Idrocarburi.....	Kohlenwasserstoffe.
— CH^4	Methane.....	Metano.....	Methan.
— C^2H^4	Ethylene.....	Etylene	Æthylen.
— AzH^3	Ammonia.....	Ammoniaco	Ammoniak.
— à l'air	Airgas	Gas d'aria.....	Luftgas.
Gaz à l'eau	Water gas.....	Gas d'acqua	Wassergas.
— mixte.....	Semi-water gas	Gas misto	Mischgas.
— pauvre.....	Power gas.....	Gas per forza motrice ...	Kraftgas.
Gazéification	Gasification.....	Gaseificazione	Vergasung.
Gazogène	Gas producer	Gasogeno	Gaserzeuger.
Gazomètre	Gasholder	Gasometro	Gassammler.
Gueulard.....	Shroat.....	Bocca del forno	Gicht.
Goudron	Tar	Catrame	Teer.
Haut fourneau.....	Blast furnace	Alto forno.....	Hochoffen.
Incandescence (zone d') ..	Zone of incandescence	Zona di di combustione viva	Glühzone.
Inflammation (point d')...	Flashing point	Punto d'accensione	Flammpunkt.
Lignite	Brown coal.....	Lignite	Braunkohle.
Poussier de charbon.....	Dust coal	Carbone in polvere	Staubkohle.

(1) J'ai dressé ce tableau pour faciliter la lecture des ouvrages de la littérature étrangère : je reconnais avoir mis largement à contribution les *Illustrierte Technische Wörterbücher (Verbrennungsmaschinen)* de M. Schlomann auxquels j'avais contribué, en 1908, en qualité de réviseur.

FRANÇAIS	ANGLAIS	ITALIEN	ALLEMAND
Poussières (séparateur de)	Dust separator	Separatore di polvere	Staubabscheider.
Réduction	Reduction	Riduzione	Reduktion.
Schiste	Shale	Schisto	Schiefer.
Scories	Clinker	Scoria	Schlacke.
Scrubber	Gas purifier	Depuratore del gas	Gasreiniger.
Sécheur de gaz	Gas drying apparatus	Essiccatore del gas	Gastrockner.
Tourbe	Peat	Torba	Torf.
Tout venant (charbon)	Rough coal	Carbone grezzo	Foerderkohle.
Trémie	Feed hopper	Caricatore	Einfültrichter.
Trop-plein (tuyau de)	Oberflowpipe	Sfiaratore	Uberfallrohr.
Valve	Valve	Valvola	Ventil.
Vapeur d'eau	Steam	Vapore d'acqua	Wasserdampf.
Vaporisation	Evaporation	Vaporizzazione	Verdampfung.
Zone de combustion	Zone of combustion	Zona di combustion	Brennzone.
Zone de combustion incomplète	Smouldering zone	Zona di combustion incompleta	Schwelzone.
Zone d'incandescence	Zone of incandescence	Zona incandescente	Glühzone.

UNITÉS ANGLAISES

Livre (pound)	453 gr. 593	Pouce carré	6 cmq. 45.
Pouce (inch)	25 mm. 4	Pied carré	9 dmq. 29.
Pied (foot)	0 m. 3048	Foot-pound	0 kgm. 13825.
Yard	0 m. 914	1 degré centigrade	9/5 Fahrenheit.

ÇHAPITRE PREMIER

L'HISTOIRE DU GAZOGÈNE

Le gazogène est le fruit d'une génération spontanée.

On pourrait dire encore qu'il est né de père inconnu et qu'il a été introduit dans le monde par des pères adoptifs, qui ont reconnu sa valeur et se sont par suite intéressés à lui. Mais je préfère m'en tenir à la première manière de voir, parce qu'elle me paraît être celle qui répond le mieux à la réalité des faits.

En effet, il s'est trouvé un beau jour que certains appareils donnaient des gaz combustibles, assez riches pour valoir la peine d'être recueillis, parfaitement utilisables dans diverses conditions. qui se mettaient d'eux-mêmes à la disposition de l'industrie. Ces appareils n'avaient pas été construits et établis pour fournir des gaz ; on ne se doutait même pas de la faculté qu'ils possédaient d'en fournir ; les gaz en étaient un sous-produit ignoré. Ces appareils, c'étaient les hauts-fourneaux, dont la fonction est de faire de la fonte de fer. Or, le haut-fourneau est pour nous aujourd'hui le gazogène par excellence, le roi des gazogènes.

On a découvert ses propriétés de producteur de gaz en 1814. Un métallurgiste français (il est bon de revendiquer la part qui revient à l'initiative du génie national dans ce domaine où l'étranger a voulu s'attribuer les premiers rôles), nommé Bertier, publia alors dans le *Journal des Mines* un mémoire sur l'utilisation du calorique des gaz de hauts-fourneaux ; il faisait connaître les essais tentés par Aubertot, maître de forges d'une

usine du Cher, pour chauffer des fours qu'il établissait sur la plateforme même des gueulards. Jusque-là, on laissait brûler en pure perte ce qui s'en échappait et nul ne se préoccupait de bénéficier de l'énorme quantité de chaleur rendue ainsi disponible : on commença par en profiter pour sécher les moules de fonderie ; puis Aubertot y monta des fours de cémentation et des fours à chaux. Mais on ne s'avisait point encore de capter les gaz, par des prises spéciales, et de les empêcher de brûler à la sortie du fourneau.

Ce fut de nouveau un Français, Faber du Fau, qui conçut le projet de les recueillir avant leur inflammation ; la date de ce remarquable progrès me paraît devoir être fixée à l'année 1837 ; on entrait ainsi dans la voie féconde qui allait conduire à pratiquer industriellement le chauffage au gaz et à produire dans des organismes spéciaux des gaz combustibles. Je serais donc disposé à dire que le gazogène est né en 1837.

Mais cet emploi du gaz de fourneaux ne se développa qu'avec lenteur, à cause de la réelle difficulté que présentait l'opération de capter les gaz. Il en résultait évidemment une certaine perturbation dans l'allure du haut-fourneau, parce qu'on allait chercher les gaz à une trop grande profondeur au-dessous du gueulard, avant qu'ils eussent accompli leur fonction réductrice. Notons en effet qu'à cette époque les fourneaux n'avaient encore qu'une faible hauteur ; d'ailleurs la production ne dépassait guère alors cinq ou six tonnes par vingt-quatre heures, et l'on ne fabriquait le plus souvent que de la fonte grise pour moulage en première fusion. La captation des gaz entraînait conséquemment une augmentation notable dans la dépense de combustible. Les maîtres de forge anglais soutenaient de plus que la marche à gueulard fermé nuisait beaucoup à la qualité de la fonte. Aussi continuait-on à s'en tenir à la pratique d'Aubertot et à placer sur la plate-forme du fourneau séchoirs, appareils à air chaud, chaudière à vapeur et le reste. Cela dura ainsi fort longtemps, jusqu'au jour où l'encombrement du gueulard devint tellement grand qu'il fallut bien y renoncer. L'inconvénient des prises profondes était entretemps devenu moins sensible et les appareils collecteurs avaient reçu de remarquables perfectionnements. On se résolut donc partout à

amener les gaz au niveau du sol des usines et à les brûler dans les divers appareils susceptibles d'utiliser leurs calories.

Ce furent Thomas et Laurens qui imaginèrent et réalisèrent les premiers un service de captation des gaz de fourneaux, en 1840 ; l'Allemand Pfort, qui donna son nom au procédé, n'a été qu'un imitateur, pour ne pas dire un plagiaire, dont la première installation ne fut faite qu'en 1842, au témoignage de Ledebur lui-même (1). Par une logique filiation d'idées, les deux-ingénieurs français qui avaient domestiqué les gaz de hauts-fourneaux en arrivèrent à la construction d'appareils spéciaux fournissant les mêmes gaz, grâce à des dispositions analogues ; ils donnèrent à ces appareils spéciaux le nom de gazogènes, et leur mémoire est restée légitimement attachée à la création de ces instruments de conversion des combustibles solides en combustibles gazeux. Thomas et Laurens étaient deux anciens élèves de l'Ecole Centrale, de la promotion de 1833 ; le premier mourut en 1870, le second en 1891 ; ils ont donc pu jouir en partie du succès de leur œuvre. Mais ils eurent, dès la première heure, un émule d'honneur et un concurrent dans la personne de l'éminent ingénieur en chef des Mines, Ebelmen, qui s'était fait une spécialité de l'analyse des gaz de hauts-fourneaux ; celui-ci construisit aussi de petits hauts-fourneaux, destinés à gazéifier le charbon, et il les installa aux forges d'Audincourt, où ils donnèrent des résultats appréciables. Une question de priorité s'éleva dès lors entre Thomas et Laurens et Ebelmen, et la question fut portée devant les tribunaux. A la suite d'une laborieuse expertise et de longs débats judiciaires, le conflit fut résolu en faveur de Thomas et Laurens dont les travaux et publications furent déclarés d'une incontestable originalité. Le même arrêt mettait à néant les prétentions d'un prétendu inventeur allemand, qui avait profité des discussions survenues entre Français pour s'établir sur leurs brisées (2).

---

(1) Ledebur. *Manuel de la Métallurgie du fer.* — Traduction Barbary de Langlade, Paris, Béranger, 1903, Tome I, page 527.

(2) Dans un ouvrage allemand, publié en 1902, un auteur trop annexioniste attribuait à Ebelmen la nationalité germanique : l'illustre ingénieur est né, en 1814, dans le Doubs, à Baume-les-Dames ; il est mort, en 1852, directeur de la Manufacture de Sèvres.

A en croire Lencauchez, ces premiers gazogènes ne donnèrent pas de résultats pratiques. En effet, on avait la prétention d'y traiter des houilles grasses, qui collaient et encombraient rapidement les petits cubilots dont on faisait usage ; les charges s'agglutinaient et ne descendaient plus. Avec des charbons maigres, trop cendreux, il se produisait des obstructions de conduites.

On commettait d'ailleurs la faute de donner trop peu d'air, pour éviter la formation de l'anhydride carbonique en excès, et le feu s'éteignait, surtout quand on en vint à employer des lignites et des tourbes ; enfin, lorsque la combustion se développait bien, des cendres scorifiées engendraient des laitiers qui refusaient de couler. Lencauchez raconte dans son *Étude sur les combustibles*, à la page 3, qu'un grand nombre d'inventeurs reprirent la question de 1840 à 1850, en renversant les courants d'air et en soufflant les appareils par le haut avec échappement des gaz par le bas : le succès fut médiocre, paraît-il, parce que, dit notre auteur, « les gazogènes étaient chauds seulement au ventre et froids en haut et en bas ». Retenons surtout que les gazogènes à tirage renversé, dont on a fait plus tard tant de cas, remontent au milieu du siècle dernier.

Jusqu'ici le type du gazogène était celui d'un petit haut-fourneau, ou pour mieux dire, d'un cubilot, de 1 à 3 mètres de hauteur, dont les dimensions changeaient, suivant qu'on le chargeait de houilles plus ou moins grasses, de coke, de lignite, de tourbe, de bois, de fraisils, ou de toute autre matière, car je crois qu'on y essaya de tout. Les gaz engendrés reçurent les emplois les plus variés et ils furent appliqués au chauffage des chaudières, des fours à réverbère, des fours de puddlage, de mazéage, de réchauffage, etc. ; le gaz combustible débouchait au centre de buses en fer, en fonte, en poterie, sous une pression de quelques millimètres d'eau, au sein d'une veine d'air qui était souvent chauffée au préalable ; les flammes étaient généralement dirigées vers le plafond du foyer en lames minces, pour assurer un contact parfait avec le comburant ; on recommandait surtout d'éviter des excès d'air, conformément aux règles de la technique la plus rationnelle, à

laquelle les études théoriques d'Ebelmen ont grandement contribué (1).

En 1855, parut à l'Exposition Universelle de Paris le gazogène du Dr Beaufumé ; celui-ci joignait à un nom prédestiné un génie inventif incontestable dont témoignent les succès obtenus, attestés par des essais effectués par l'ingénieur Grouvelle aux Etablissements Cail. Il faut faire la part de l'engouement des contemporains émerveillés par les économies réalisées, et l'on peut ne pas croire qu'une chaudière à bouilleurs de 25 mètres carrés ait engendré 10 kilogrammes de vapeur à 4 kilogrammes de pression par kilogramme de houille ; mais les résultats du gazéificateur Beaufumé ont fait époque et nous ne pouvions les passer sous silence. Et pourtant ce succès fut éphémère et l'on n'en parle plus guère aujourd'hui : on a tort, car ce sont les premiers pas qui coûtent le plus.

La réputation des Siemens a été plus durable. Les deux frères William et Frédéric Siemens, Allemands de naissance, anglais d'éducation (2), commencèrent en 1856 à s'occuper de gazéification des combustibles. Lencauchez, qui ne les aimait pas, a reproduit leur brevet de février 1857 pour le critiquer ; ils y énonçaient pourtant des idées judicieuses, sinon entièrement neuves, sur les *régénérateurs* de chaleur. Cette régénération avait sans doute déjà été indiquée par Robert Stirling en 1816, mais on n'en avait pas tiré parti. D'autre part, le Suédois Ekmann avait pratiqué le réchauffement de l'air, et le gazogène Tscheitsch se composait d'une cuve de maçonnerie semblable à celle qu'avaient adoptée les Siemens ; toutefois ceux-ci n'étaient pas sans mérite. Par une ingénieuse inversion de courants, exécutée par le moyen de valves, les chaleurs perdues étaient accumulées dans le régénérateur durant une pre-

---

(1) Il est équitable de mentionner à cette époque les essais de Robin et de Sire, auxquels les métallurgistes de Franche-Comté ont dû des économies appréciables. On manquerait aussi à la justice en ne citant pas Bischof, qui transformait la tourbe du Harz en gaz de chauffage des fours d'affinage, et mérite de prendre rang parmi les initiateurs de la gazéification.

(2) L'aîné devenu sir W. Siemens a reçu en 1883 les honneurs de funérailles solennelles à Westminster.

mière phase de l'opération, et restituées dans la seconde à l'air et aux mélanges combustibles venant du gazogène. La métallurgie adopta rapidement les appareils Siemens ; la verrerie, la fabrication des glaces et l'industrie céramique réalisèrent de substantielles économies en remplaçant leurs vieux alandiers par les nouveaux gazogènes. Dans les convertisseurs Bessemer, on trouvait un avantage marqué à employer un gaz contenant une forte proportion d'oxyde de carbone. En produisant un gaz oxydant, on obtenait le moyen de fabriquer l'acier par la combustion d'une partie du carbone contenu dans la fonte. Plus tard, on appliqua le gazogène au chauffage des cornues à gaz et l'on arriva à distiller 900 kilogrammes de houille, au lieu de 750 par jour et par cornue. Les Siemens remportèrent à l'Exposition de Paris de 1867 la plus haute récompense dont pouvait disposer le jury (1).

En 1869, Ponsard développa les mêmes idées que poursuivirent aussi Emile Muller, professeur à l'Ecole Centrale, puis Gaillard et Haillot ; on cherchait surtout à supprimer les interversions de courants et à réaliser un fonctionnement continu.

Mentionnons aussi les recherches de Minary, ingénieur aux forges de Fraisans, en Franche-Comté, qui suivait surtout les traditions d'Ebelmen ; on peut les dater de l'année 1876. C'est vers le même temps que Lencauchez se faisait connaître par l'installation de gazogènes, genre Siemens, caractérisés par un barrage, obligeant les produits volatils de distillation à traverser la zone plus chaude, avoisinant la grille (2) : on cherchait ainsi à éviter le dédoublement des carbures d'hydrogène, qui se décarburent en formant des combinaisons plus stables, méthane, éthylène et goudrons, ces derniers adhérant aux parois des conduites et les obstruant rapidement. A partir de ce moment, Lencauchez a pris rang parmi les spécialistes les plus distingués de la gazéification : son nom reviendra souvent sous notre plume dans les pages qui suivent.

---

(1) Witz. Sir William Siemens. *Revue des questions scientifiques.* Tome XV, page 353, avril 1884.

(2) Lencauchez a publié en 1878 son premier ouvrage considérable ayant pour titre : *Etude sur les combustibles en général et sur leur emploi au chauffage par les gaz* (Paris, Lacroix, éditeur).

Ce sont encore des gazogènes Siemens ou Lencauchez que l'on trouve dans un grand nombre d'aciéries Martin.

Le procédé Martin permet de fabriquer du fer ou de l'acier sur la sole d'un four à réverbère: Pierre Martin était maître de forges à Sireuil quand il prit son premier brevet, en 1865, et il se servit d'un four à régénération Siemens, qui seul lui permettait d'atteindre la température élevée dont il avait besoin. On peut donc dire que le procédé Martin, centre de gravité actuel de la sidérurgie du fer et de l'acier, est une des conséquences de la gazéification, et cela suffirait pour faire du gazogène un des appareils les plus remarquables que possèdent les métallurgistes : le gazogène leur permet d'utiliser des combustibles inférieurs ou de tirer de la houille le parti de beaucoup le plus économique. La consommation du charbon était d'abord de 400 kilogrammes environ par tonne d'acier Martin ; elle ne dépasse guère 200 kilogrammes dans les fours modernes à marche rapide, se prêtant à cinq opérations par vingt-quatre heures. La capacité horaire de gazéification d'un gazogène soufflé atteint 160 kilogrammes par mètre carré de section minimum d'une cuve sans grille.

Le gazogène reste sans contredit un des éléments les plus importants des établissements métallurgiques, et j'ai cru utile de le rappeler au lecteur, mais il a pris aussi une grande situation dans d'autres industries, en changeant plus ou moins de forme et en modifiant ses produits, et nous allons nous occuper maintenant de ces applications aussi variées qu'elles sont multiples.

L'emploi de bons appareils de régénération et de récupération avait permis d'obtenir des températures élevées en utilisant des gaz peu riches, tels que ces gaz à l'air fournis par les générateurs Siemens et les similaires ; on ne s'inquiétait guère de leur puissance calorifique, dans ces grandes installations de fours, dont la constance de régime et l'intensité de seffets s'accommodait bien d'accessoires encombrants et coûteux. Néanmoins quelques ingénieurs se préoccupaient d'obtenir des gaz plus actifs par des appareils souples et puissants occupant un moindre volume.

C'est d'Amérique, dit-on souvent, que nous est venue l'invention du gaz à l'eau : on se trompe à moitié ; il faut dire qu'elle nous est revenue d'Amérique.

Comme bien d'autres, elle était partie de France ; mais elle n'a été appréciée chez nous qu'après avoir obtenu de l'autre côté de l'Atlantique la consécration d'une mise au point que nous ne savons pas donner aux choses ingénieuses qu'enfante notre cerveau. M. Laverchère a démontré dans un lumineux travail, paru dans *Le Génie civil* (1), que le premier générateur de gaz à l'eau a été imaginé par Gengembre, inspecteur général en retraite de la Monnaie de Paris, dès 1819 ; les appareils de Vere, d'Ibbetson, de Donovan, etc., dont on parle souvent, sont nés postérieurement. Nombreux furent les gazogènes de toute forme que l'on essaya pendant une cinquantaine d'années : il fallut attendre qu'un Français, Tessier du Motay, franchît les mers, en 1876, pour qu'on réalisât quelque chose de pratique ; il eut pour collaborateurs Lowe, Strong et d'autres que l'on dit être les pères du gaz à l'eau. Ils n'en sont que les parrains. Leur génie pratique et leur constance dans la poursuite de leurs desseins eurent finalement raison de toutes les difficultés ; l'excellente qualité de leurs anthracites contribua d'ailleurs aussi grandement à leur succès.

Le gaz à l'eau, obtenu en faisant passer de la vapeur d'eau sur du charbon incandescent, riche en hydrogène et en oxyde de carbone, presque dénué d'azote, possédant un pouvoir calorifique élevé, convient mieux que tout autre à certains travaux de soudure du verre et des métaux, et on peut l'employer avantageusement encore pour le chauffage de quelques fours ; carburé, il se prête à l'éclairage ; il peut aussi être mêlé au gaz des villes ; en moteurs, il ne fait plus merveille assurément, à cause de sa composition spéciale, mais peut servir néanmoins. Il a de chauds partisans, qui prônent ses qualités avec conviction, non sans exagération quelquefois ; d'autres le déprécient outre mesure.

Nous discuterons ces dires opposés dans le cours de cet ouvrage.

La naissance et le développement des moteurs à gaz fit la fortune d'un autre produit des gazogènes.

---

(1) Laverchère. Le gaz à l'eau carburé ; dans le *Génie civil*, Tome XXXIX, 1901, page 385.

J'ai raconté ailleurs (1) comment Lenoir avait réussi à établir dès 1860, une machine à explosion, alimentée de gaz de ville, capable d'actionner un atelier ; avant lui, on n'avait fait que des joujoux. Le nouveau moteur, dit à air dilaté, s'annonça tout de suite comme un concurrent des petites machines à vapeur, mais il ne devait point tarder a être appelé à de plus hautes destinées. En 1867, Langen et Otto créaient leur tapageur moteur atmosphérique qui fit baisser considérablement la consommation de gaz, mais ne constituait qu'une solution momentanée ; en 1876, Otto reprenait une idée féconde que Beau de Rochas avait laissé tomber dans le domaine public, et il construisait un moteur à compression préalable qui devait occuper rapidement une large place dans la petite industrie ; avec le concours de l'Anglais Crossley, il garda longtemps le monopole de cette construction. Mais ces machines consommaient un gaz qui était grevé partout de droits de monopole et qu'on payait généralement de 30 à 40 centimes le mètre cube : cela mettait le prix de revient du cheval-heure à un taux trop élevé qui nuisait à l'expansion des moteurs.

Il fallait lui trouver une autre source d'alimentation.

On commença par essayer de fabriquer du gaz qui revint moins cher que celui des compagnies ; on ne trouvait du reste ces compagnies que dans les villes d'une certaine importance et il fallait pouvoir suppléer à leur absence. Il n'était guère indiqué de recourir à la distillation de la houille, mieux valait utiliser des résidus de la rectification du pétrole, des mazouts, des bitumes liquides, des résines, des schistes : on obtint des résultats encourageants, et le *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse* annonçait, en 1875, que plus de quarante industriels produisaient du gaz à leur usage, dans des conditions réellement économiques. L'Alsace a toujours été à la tête du progrès.

Le gaz à l'eau n'eût pas mieux demandé que de prendre la succession du gaz des usines, mais il coûtait lui-même trop cher et présentait des inconvénients. Toutefois, il y avait une solu-

---

(1) J'ai écrit l'histoire des moteurs dans mon *Traité des Moteurs à gaz*, dont une cinquième édition ne tardera pas à paraître.

tion intermédiaire, consistant à fabriquer à la fois du gaz Siemens et du gaz à l'eau. On le faisait depuis longtemps sans trop s'en douter. Alfred Wilson, en 1875, puis Emerson Dowson, peu de temps après, réinventèrent la chose et le dernier se l'appropria : il en avait le droit, car il la perfectionna. L'appareil qu'il construisit a fait époque dans l'histoire des moteurs et des gazogènes.

C'était en effet un gazogène, mais c'était un gazogène d'une espèce intermédiaire entre les cornues de distillation et les générateurs basés sur la dissociation de l'eau ; son produit se trouvait être moins riche que celui des Strong, plus riche que celui des Siemens ; on l'appela gaz mixte. Il était obtenu très simplement en insufflant dans le feu, à l'aide d'un injecteur, un mélange d'air et de vapeur d'eau souvent surchauffée ; le générateur de gaz avait la forme d'une cuve cylindrique ; les laveurs et épurateurs qui lui étaient adjoints couvraient un espace assez restreint. Le système procurait une notable économie, attendu qu'un gaz cinq fois moins riche que le gaz de ville coûtait 12 à 15 fois moins ; il convenait à tous les chauffages de chaudières, de séchoirs, d'étuves, d'émaillage, de buanderie, de cuisine, s'appliquait aux calandres et cylindres d'apprêt, à la fonderie des caractères, etc., etc. J'abrège les citations d'emploi de la notice de Pierron et Dehaître, qui avaient acquis la concession en France du merveilleux gazofacteur. Il avait paru à la fameuse Exposition d'Electricité tenue à Paris, en 1881, au Palais de l'Industrie (Groupe V, classe 14) : il y fut très remarqué, surtout pour les singuliers avantages qu'il présentait en vue de l'alimentation des moteurs à gaz qui prenaient alors leur essor.

Le moteur Otto, construit par son inventeur à Deutz, près de Cologne et à Openshaw (Manchester), par ses concessionnaires anglais, les frères Crossley, fut un des meilleurs clients de Dowson ; il contribua grandement à sa réputation et à son succès. On rapportait avec admiration que les ateliers d'Openshaw développaient 150 chevaux par trois gazogènes, en dépensant par cheval-heure effectif trois mètres cubes d'un gaz coûtant environ 1 centime au mètre cube. Ce n'était pas loin de la vérité, ainsi que je l'ai constaté, par des essais faits à Rouen,

en 1885, aux ateliers Powell, sur un moteur Simplex : pour une puissance de 7 chevaux, je trouvai une consommation de 2459 litres à 0 degré et 760 millimètres de pression. L'équivalence en bon anthracite était d'environ 600 grammes par cheval et par heure.

Un tel résultat correspondait à un rendement dont on ne pouvait avoir aucune idée en machine à vapeur : toutes les espérances étaient dès lors permises, et j'écrivais ce qui suit en 1886 dans la première édition de mon *Traité des Moteurs à gaz* : « Il s'agit donc de produire le gaz de chauffage de même qu'on produit de la vapeur ; l'opération n'est pas plus compliquée, et nous n'hésitons pas à affirmer que, dans un avenir prochain, la cornue à gaz aura supplanté dans bien des industries les bouilleurs des générateurs à vapeur » (1). Je ne croyais pas être si bon prophète ! De fait, on est arrivé en peu d'années à produire le cheval-heure effectif par 400 grammes d'un charbon approprié, d'un pouvoir de 8.000 calories au kilogramme, dont la valeur en chaleur est de 3.200 calories. Un tel fonctionnement correspond à un rendement thermique effectif de 27 p. 100 : or, les meilleures machines à vapeur rendent (chaudières comprises) 15 p. 100 (2).

L'engouement pour les moteurs à gaz pauvre fut très grand à cette époque : l'emploi de l'air carburé par les essences de pétrole donnait des résultats moins brillants et le moteur Diesel n'était pas encore né. L'attention de tous les ingénieurs se porta de ce côté ; chacun voulut écrire son livre, beaucoup voulurent inventer leur gazogène ; le nombre des brevets dépassa il est vrai en bien des cas celui des constructions réalisées (beaucoup se croyaient appelés, mais il y avait peu d'élus) ; toutefois on ne peut nier qu'il se produisit un mouvement remarquable et qu'on obtint des résultats heureux. Au nom de Dowson sont venus se joindre ceux de Lencauchez, des frères Bénier, de

---

(1) Ces lignes se lisent à la page 283 de ma première édition.

(2) Je me permets de renvoyer le lecteur, pour plus ample informé, aux publications suivantes : Witz. Rendement comparé des machines à vapeur et des moteurs à gaz (*Eclairage électrique*, 4 et 11 janvier 1902). La crise de la machine à vapeur (*Bulletin de la Société industrielle du Nord de la France*, 1913).

Gardie, de Letombe, de J. et O.-G. Pierson, de Fichet et Heurtey, de Mond, de Duff, de Riché, de Crossley, etc., au mérite et au travail desquels je me plais à rendre hommage.

L'importance des installations montées de toutes parts, et surtout en Angleterre, a dépassé bientôt tout ce que l'on pouvait prévoir ; notons en particulier que des gazogènes Duff, appliqués dans les établissements de l'United Alkali Co à la production de gaz combustibles avec récupération de tous leurs sous-produits, ont pu atteindre une capacité de gazéification de plusieurs centaines de tonnes par semaine, en alimentant des moteurs présentant au total une puissance de plusieurs milliers de chevaux.

Dans la luxuriante floraison des créations de tout genre qui se produisit alors, il y eut beaucoup d'innovations peu étudiées, faites par ceux que Lencauchez appelait plaisamment (sans aucune méchanceté, il n'en était pas capable) des sous-inventeurs ; le nombre des réalisations vraiment originales ne fut pas grand, ainsi que nous le verrons plus loin, en écrivant la monographie des types les plus connus. Ce n'est pas à dire qu'on n'ait pas obtenu des résultats intéressants dans des voies diverses, que nous signalerons dès maintenant en gros.

Le gazogène Dowson était pourvu d'une petite chaudière séparée qui fournissait de la vapeur à un injecteur du genre Giffard; il y avait donc insufflation à la base de la cuve d'un mélange intime d'air et de vapeur. Ce dispositif présente un inconvénient : il ne laisse pas une entière liberté au conducteur pour doser à sa volonté la quantité relative de vapeur qu'il veut admettre, puisque c'est le jet de vapeur qui entraîne l'air et que la quantité d'air est fonction de la quantité de vapeur. On augmenta l'élasticité du fonctionnement en insufflant de l'air par un ventilateur : dans ce cas, la vapeur est fournie soit par une chaudière, faisant corps avec la cuve du gazogène, utilisant sa chaleur perdue, soit par un pulvérisateur d'eau, dont on règle le débit suivant le besoin. L'emploi d'un compresseur cause, il est vrai, une nouvelle sujétion ; à moins qu'on ne dispose d'une transmission de mouvement ou d'une commande électrique indépendante, on se voit obligé d'installer un moteur spécial de mise en route. Par contre, le venti-

lateur permet d'atteindre des pressions de 400 à 500 millimètres d'eau, qui viennent bien à point quelquefois, et surtout quand on gazéifie des combustibles qui occasionnent de grandes pertes de charge, par leur mauvaise tenue au feu, ou bien encore par le développement exagéré qu'on est obligé de donner aux appareils de lavage et d'épuration.

Gardie avait imaginé d'alimenter son gazogène d'air fortement comprimé à 6 ou 8 kilogrammes, dans le but de permettre l'emploi de houilles très chargées de produits volatils ; l'air d'insufflation étant plus riche en oxygène, sous un volume déterminé, la température de la zone de combustion se trouvait plus élevée, la chaleur se concentrait davantage et la réaction durait moins. Le résultat était de réduire la proportion d'acide carbonique, et de décomposer les carbures et les produits ammoniacaux ; les appareils d'épuration devenaient par suite inutiles. L'expérience a justifié ces prévisions du judicieux inventeur.

Tous les gazogènes injectés ou soufflés comportaient un gazomètre assurément encombrant, mais qui constituait à la fois une réserve de gaz, un mélangeur de produits de qualité variable et un régulateur de pression, dont les effets étaient heureux ; souvent la cuve se trouvait disposée de manière à renfermer le laveur ou *scrubber*. En donnant à la cloche une contenance de 150 litres par cheval, on se procurait une grande aisance pour le nettoyage et le piquage du feu, puisqu'on avait la possibilité de suspendre un moment le soufflage. Malgré cela, on cherchait le moyen de réaliser une autoalimentation par le moteur lui-même.

Ce moyen avait été breveté, dès 1862, au bénéfice du professeur Arbos de Barcelone ; mais l'invention sommeilla durant de longues années et elle ne fut pas remarquée. Léon et Edouard Bénier y revinrent plus tard, et ils l'appliquèrent à leur moteur à deux temps ; leur dispositif donna d'excellents résultats. Ils eurent le tort de ne pas s'en réserver l'application pour les moteurs à quatre temps et ils furent dépossédés de leur idée, qui en enrichit d'autres qu'eux. *Sic vos non vobis* a dit le poète, il y a longtemps.

Aujourd'hui, presque toutes les installations de puissance motrice par les gaz pauvres sont à aspiration ; on est dispensé

de placer une cloche sur le chemin des gaz et la production est incessamment proportionnelle aux besoins du moteur.

Un nouveau et vaste domaine, aux brillantes perspectives, s'ouvrait maintenant devant le gazogène, et les questions de chauffage passaient à l'arrière-plan : le moteur à gaz pauvre détrônait la machine à vapeur et le producteur de gaz supplantait le générateur de vapeur, ainsi que je l'avais annoncé. Mais de nouvelles conditions s'imposaient au gazofacteur, auquel on demandait un gaz propre, dépoussiéré et dégoudronné avec soin. Il fallut adjoindre au gazogène des laveurs et des épurateurs physiques et chimiques, à l'instar de ce qui se faisait dans les usines à gaz ; c'était une complication, mais il en résultait une sécurité. Quelques constructeurs affectaient de réduire cet attirail à sa plus simple expression; d'autres, mieux avisés, (parmi lesquels je citerai MM. Fichet et Heurtey et MM. Pierson), multipliaient au contraire les précautions et s'en trouvaient bien ainsi que leurs clients.

Mais ne valait-il pas mieux se débarrasser des goudrons, dans le générateur de gaz lui-même, que de les arrêter au passage en semant des barrages et des chicanes sur leur chemin, barrages et chicanes qu'ils arrivaient à franchir quand même, au grand dépit de Lencauchez qui s'en désespérait ? Assurément. On en revint donc à un procédé découvert depuis longtemps, mais mal pratiqué jusque-là, qui consistait à faire subir aux produits volatils une sorte de réduction par le feu, en présence de carbone incandescent. Deux cuves jumelles furent associées de diverses façons, à l'effet d'obtenir ce résultat. Puis on superposa les deux cuves, on les fondit en une seule, et l'on inventa les gazogènes à « combustion renversée », qui étaient tout bonnement à « tirage renversé », dont on fit beaucoup d'éloges avec conviction, et beaucoup de bruit par intérêt. On décora la nouvelle manière de faire du nom suggestif « d'autoréduction ». Il n'y a pas de médailles sans revers. On avait promis plus de choses qu'on en pouvait tenir et l'on avait dissimulé quelques inconvénients.

Ces goudrons si gênants ont une valeur vénale, et MM. Mond, Brunner and C° se proposèrent de les récupérer en grand, en même temps que les produits ammoniacaux qui les accompa-

gnent en quantité notable, surtout lorsqu'on traite certaines houilles riches en azote. Loin de chercher à en diminuer la production, on s'efforça de la développer et de n'en rien perdre ; pour cela, on inventa une marche en allure froide avec excès de vapeur d'eau, et l'on monta à la suite des producteurs une série de colonnes, de tours et de réservoirs qui retenaient parfaitement ce qu'on appelait d'ailleurs les sous-produits, mais qui étaient devenus les produits les plus nets de l'entreprise. Le succès fut complet, en Angleterre au moins ; il fut moindre en d'autres endroits, parce que le procédé réussit mieux avec certaines houilles bitumineuses qu'avec d'autres. Le procédé n'en restait pas moins remarquable.

Le procédé Mond a été une innovation féconde, car il a ouvert la voie à des entreprises nouvelles d'une immense portée, qui mettent le gazogène au pinacle de l'opinion et pourront conduire à des résultats remarquables, si l'on trouve la manière et qu'on sache l'employer. Je veux parler de la gazéification générale et méthodique des houilles de toute nature.

L'économie du combustible est maintenant à l'ordre du jour de toutes les nations, mais surtout de celles dont le sous-sol ne renferme pas beaucoup de combustible minéral ; c'est le cas de la France, qui ne produit que le tiers du charbon dont elle a besoin. L'économie s'impose à nous plus que jamais, d'une façon impérieuse, parcequ'il faut user avec parcimonie d'une substance dont nous manquons et dont nous ne pouvons nous passer, et parce qu'on doit dépenser avec avarice un produit que nous payons aux prix extravagants de 400 à 500 francs la tonne, c'est-à-dire près de 50 centimes le kilogramme. C'est le prix de famine.

Or, le gazogène nous donne le moyen de tirer du charbon toute l'énergie qu'il possède, de faire notre profit de tout ce qu'il renferme et de n'en rien laisser perdre d'aucune part. Il faut recourir à ce moyen en grand, de la manière la plus complète et la plus parfaite, et cela tout de suite ; il y a péril en la demeure (1).

---

(1) J'ai développé ces idées, d'une pressante actualité, dans une série d'articles publiés dans la *Revue générale des Sciences* (1920), que M. Doin a réunis en un volume, intitulé : *La crise du combustible et ses remèdes.*

L'idée est séduisante : la thèse de ses promoteurs l'expose du reste simplement,

La combustion de la houille, disent-ils, telle qu'elle se pratique habituellement dans les foyers, est indigne de nous et absolument surannée ; on gaspille de précieux éléments, les uns que l'on peut parfaitement brûler dans d'autres foyers, disposés *ad hoc* et mieux appropriés, les autres qui ont sur le marché une valeur intrinsèque, qu'il faut recueillir et ne pas jeter à l'air ridiculement. Il y a deux moyens à employer, basés tous deux sur l'emploi du gazogène, dont nous avons enfin découvert les incomparables qualités. Le premier est calqué sur le procédé Mond, qui vient d'être signalé ; il récupère toutes les énergies des houilles et toutes leurs valeurs. L'autre est calqué sur celui des cokeries et des usines à gaz : il consiste à faire rendre d'abord par distillation, à la houille crue, tout ce qu'elle peut donner et à produire ainsi d'une part des gaz, du benzol, des goudrons, des brais, éléments combustibles ou transformables, ainsi que des produits ammoniacaux, dont la terre de France a besoin, et d'autre part du coke ; ce coke sera repris dans des gazogènes en vue d'une gazéification qui fournira des gaz utilisables en foyers et en moteurs, avec un rendement supérieur.

M. Métivier s'est complu à établir le bilan de cette double opération (1) ; une tonne de houille peut donner d'abord 300 mètres cubes d'un gaz riche de distillation, à 4.500 calories au mètre cube, 5 kilogrammes de benzol, 10 d'huiles lourdes, 16 de brai, sans compter les produits azotés ; puis, par la gazéification du coke, 2.800 mètres cubes de gaz pauvre à 1.100 calories ; le total des calories résultantes s'élève à plus de 4 millions de calories. Ce n'est que la moitié des calories qui représentent l'énergie calorifique de la houille crue, et le déchet de l'opération semble de prime abord considérable, mais les combustibles artificiels engendrés, et surtout les gaz, sont susceptibles d'une utilisation tellement meilleure en foyers et en machines motrices, que l'on regagne amplement ce que l'on

---

(1) Métivier. Rapport sur un programme national de carbonisation, présenté au Comité général des Pétroles et des Combustibles, le 24 juin 1920.

avait cru perdu, et que l'opération se solderait finalement en bénéfice de près de 32 p. 100.

En d'autres termes, la première transformation ne rapporterait que la moitié des calories originaires, mais cette moitié serait acquise sous des formes dont l'utilisation thermique et énergétique ultérieure procurerait quand même un gain, qui n'est point négligeable, en aucun temps, et qu'il serait criminel de ne point réaliser en ces jours de pénurie et d'extrême misère. Et l'on conclut à la création sur un mode moderne, et dans des conditions remarquables d'économie, de vastes usines à gaz, d'imposantes cokeries, de grandioses supercentrales électriques et d'usines de tout genre et de toute espèce, nourries par cette source d'énergie. On a décoré cette conception hardie du titre « d'industrie spéciale ayant l'indépendance thermique nationale pour but et la carbonisation de la houille pour moyen » et elle a été présentée ainsi au Comité général des Pétroles et du Combustible, qui en a fait la base d'un immense programme. C'est la consécration officielle ; il ne manque plus que la consécration industrielle.

Elle viendra sans doute, du moins dans une certaine mesure. En effet, les conclusions de l'ingénieur distingué qui les a formulées devraient, sans doute être corrigées de quelques appréciations trop optimistes, mais elles sont justifiées au fond ; on pourra trouver toutefois que le Comité général a donné d'emblée au projet une bien vaste envergure, et il est à douter que les stations que l'on prévoit si grandement posséderont la souplesse et la sécurité que l'on a escomptées.

Le dernier mot de la discussion qui s'est élevée à ce sujet sera dit par la pratique : laissons-lui la parole.

En attendant, constatons que le gazogène est entré dans une nouvelle phase de son histoire ; son rôle s'est élargi et ses applications ont pris une extension inattendue.

Je m'efforcerai de les retracer dans les pages qui suivent, dont l'actualité constituera le plus vif intérêt.

Parmi ces applications, il en est une que nul ne prévoyait il y a quelques années. L'industrie de l'ammoniaque synthétique, reposant sur la fixation de l'azote atmosphérique, ne se développera que si l'on peut obtenir le gaz hydrogène à bas

prix : or, on en produira de grandes quantités par les divers appareils de distillation et de gazéification, qui se groupent dans l'industrie du fer, de sorte que l'ammoniaque deviendra un sous-produit de la sidérurgie. Comme la soude elle-même est un produit subsidiaire de l'ammoniaque, on voit quelle liaison s'établira entre ces branches de l'activité humaine. Elle sera l'œuvre du gazogène.

CHAPITRE II

LES COMBUSTIBLES ET LEUR COMBUSTION

Il y a une immense variété de combustibles ; étant donné que les gazogènes les peuvent employer tous, nous devons parler

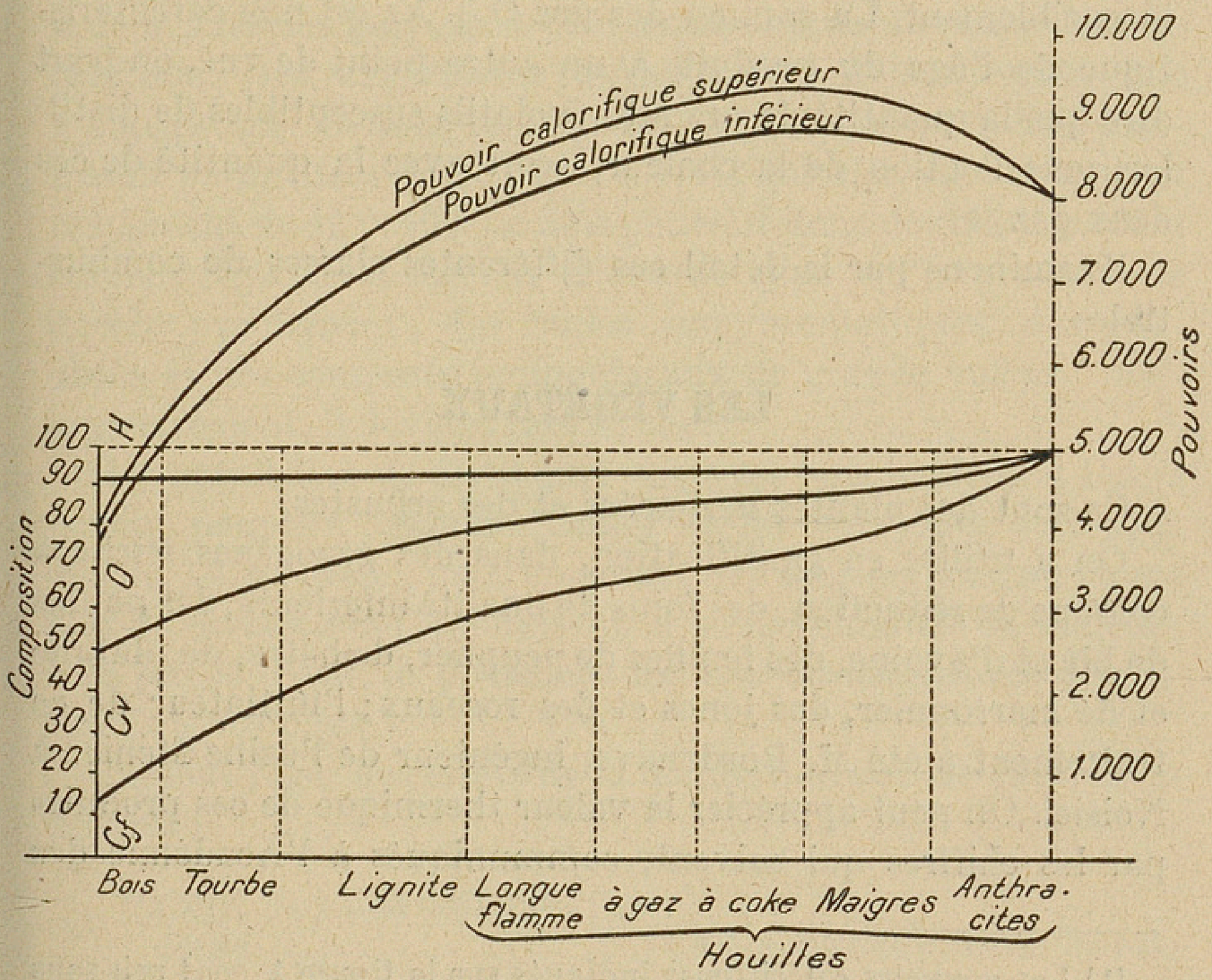


Fig. 1. — Chaleur de combustion et composition des combustibles.

de tous ; mais nous y mettrons la discrétion nécessaire, pour ne pas développer outre mesure un sujet si vaste.

Occupons-nous d'abord uniquement des combustibles solides : leur origine est végétale, et ils sont tous des fruits de l'énergie solaire. Leur longue série s'étend des feuilles et des branches sèches, que nous avons vu verdir et se développer sous nos yeux, et vivre ce que vivent les roses, aux bois, dont la croissance a duré plusieurs générations humaines, aux lignites et aux tourbes, formations tertiaires et secondaires, et elle se termine aux houilles de l'époque carbonifère. Aux deux extrémités, nous trouvons d'une part de la cellulose, d'autre part du carbone presque pur ; la cellulose renferme 44 de C, 56 de H + O + Az ; l'anthracite contient 95 de C, et 5 de gaz et de substances volatiles. La progression est continue et je l'ai rendue visible sur la figure 1 ; on y voit croître la proportion du carbone fixe (cokifiable), alors que décroît celle du carbone volatil et des gaz O + Az ; la proportion d'hydrogène H varie insensiblement. La somme des gaz O + Az est une caractéristique de l'âge du produit. A un autre point de vue, on peut dire que la quantité de produits volatils susceptibles de distiller, sous l'action de la chaleur, croît avec la quantité de ces deux gaz (1).

Examinons par le détail ces différentes classes de combustibles.

LES VÉGÉTAUX

Ce sont des plantes herbacées et des arbustes.

On a utilisé en gazéification, dans des gazogènes Riché à colonne de réduction, des foins de qualité inférieure, des pailles de blé et d'avoine, des feuilles de peuplier, de hêtre, de platane et de marronnier, des joncs et des roseaux ; l'initiateur de ce traitement a été M. Bordenave, ingénieur de l'usine Menier à Noisiel. On peut apprécier la valeur thermique de ces produits par les chiffres qui suivent, communiqués à l'Académie des

---

(1) Les pouvoirs calorifiques indiqués sur la figure 1, sont pris sous déduction des cendres.

Sciences en décembre 1904 ; le cheval-heure effectif a été obtenu par 0 kgr. 500 de feuilles de hêtre, 1 kgr. 050 de paille, ou 1 kgr. 020 de foin.

La tannée, le marc de raisin et quelques autres substances résiduelles de l'industrie et de l'agriculture, constituent des combustibles, qu'on utilise souvent avec avantage en gazogènes.

La bagasse est le résidu de la canne à sucre ; la dessiccation lui fait perdre la moitié de son poids. La fibre ligneuse qui reste renferme 50 de C, 44 de O + Az et 6 d'H.

A Cuba, dans la Guyane et aux Indes, la bagasse est un combustible apprécié, qu'on ne se donne pas toujours la peine de sécher entièrement, attendu que ce n'est point nécessaire.

LE BOIS

Ebelmen avait fait des essais prolongés de gazéification par le bois dans ses gazogènes et il avait obtenu de remarquables résultats ; ses expériences d'Audincourt démontrèrent que 1 kilogramme de bois, renfermant 25 p. 100 d'humidité, fournissait 1.615 litres de bon gaz, à 1.479 calories, en réalisant un rendement de 82 p. 100. Le bois pourrait donc donner lieu à des emplois très avantageux, d'autant plus qu'il produit de l'acide pyroligneux, des huiles empyreumatiques, des goudrons et des composés ammoniacaux de grande valeur : malheureusement, il devient rare et cher.

Il y aurait lieu de distinguer entre les bois tendres et légers (sapin, peuplier, tremble, saule) et les bois durs et lourds (chêne, hêtre, orme), mais on admet que tous les bois, au même état de dessiccation, produisent la même quantité de chaleur ; à 25 p. 100 d'eau, ils possèdent un pouvoir calorifique d'environ 2.750 calories.

On peut juger des effets de la distillation par les chiffres ci-dessous :

Un kgr. de chêne desséché à l'air donne	0 kgr. 392 de charbon de bois
Un kgr. de hêtre desséché à l'air donne.....	0 kgr. 255 —

Un kgr. de sapin desséché à l'air donne.....	0 kgr. 223 de charbon de bois
Un kgr. de peuplier desséché à l'air donne	0 kgr. 493 —

M. Tissier a imaginé de carboniser le bois dans un four chauffé par les gaz d'échappement d'un moteur à gaz alimenté par les gaz de la distillation ; 4 tonnes de bois donnent ainsi 1.150 kilogrammes d'excellent charbon de bois. Le procédé des meules est loin de fournir semblable résultat.

La qualité du charbon de bois dépend de l'essence dont il provient ; en général, on admet 7.000 calories pour un charbon à 7 p. 100 d'eau et autant de cendres. Mais ce pouvoir (cendres déduites, peut s'élever à 8.000 calories, quand la carbonisation est effectuée à haute température.

Lencauchez a donné les résultats moyens de la distillation du bois.

Par kilogramme de bois.

Volume de gaz à 0° et 760 millimètres....	0 mc. 334 litres
Pouvoir du gaz	3.283 calories
Rendement en charbon de bois.....	0 kgr. 235
— en eaux acides	0 kgr. 336
— en goudron	0 kgr. 070

On estime que le rendement en charbon des bois traités en fours est moyennement de 26 pour cent.

LES TOURBES

Résidus d'une décomposition lente de végétaux de marécages, les tourbes présentent des qualités très variables, et elles renferment généralement 80 p. 100 d'eau. On estime qu'une tourbe est bonne quand elle présente un pouvoir de 4.000 calories, après dessiccation à 25 p. 100.

Un bon séchage s'impose pour la meilleure tourbe.

Mise en briquettes à 20 p. 100 d'eau, on la carbonise et l'on obtient de l'huile de tourbe, 150 mètres cubes de gaz à 2.600 calories et un charbon de tourbe, analogue au charbon de bois.

On a créé des gazogènes spéciaux pour la tourbe ; ils four-

nissent un gaz à l'eau dont on alimente des moteurs ; on recueille d'importants sous-produits.

Une tonne de tourbe à 20 p. 100 d'eau, traitée par ce procédé, donne 25 de carbone fixe, 65 de goudrons et 400 mètres cubes de gaz ; en distillant les goudrons, on obtient de la benzine, de l'acide phénique, de la créosote, de la paraffine, des huiles de graissage et d'éclairage, etc., et encore du coke ; enfin on produit 80 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque. Le coke de tourbe est excellent.

Ces chiffres prennent de l'intérêt, si l'on observe que nous avons en France 40.000 hectares de tourbières ; on a extrait, en 1912, 42.000 tonnes ; on devrait faire beaucoup plus. Le 11 juin 1917, la Chambre a invité le Gouvernement à organiser, par tous moyens possibles et au besoin par réquisition, d'urgence, une exploitation intensive de nos ressources nationales en tourbe ; le jour même une commission fut nommée, comptant 4 sénateurs, 8 députés et 6 délégués des ministères. Mais la réquisition et l'urgence ne portaient malheureusement pas sur les travaux de la commission.

LES LIGNITES

On suppose que les lignites sont le produit de l'altération des bois enfouis dans les profondeurs du sol à l'abri de l'air ; le fait est que la substance offre souvent une texture végétale très curieuse ; d'autres fois elle a l'apparence d'un charbon de terre brun ou noirâtre, mat et terne. L'éclat vif du jayet est une exception. Les Allemands donnent aux lignites les noms expressifs de Schwartzkohle, Braunkohle et Glanzkohle ; ils en possèdent des gisements considérables, dont ils ont tiré un parti merveilleux. Pendant la guerre, en 1915, leur extraction a atteint 88 millions de tonnes. La France n'en est pas dépourvue et on en trouve dans 25 départements, principalement dans le Sud-Est ; mais on en tire au plus un million de tonnes. Proportion gardée de l'étendue des gîtes respectifs d'Allemagne et de notre pays, nous devrions centupler notre production.

La composition des lignites est extrêmement différente suivant leur provenance. La proportion d'eau hygroscopique,

toujours grande, oscille de 23 à 50 p. 100 ; les cendres de 6 à 16 p. 100. L'analyse d'une qualité moyenne donne 65 de C, 8 de H, le reste de O + Az. Mais le rendement en coke dépasse rarement 40 p. 100 ; en produits volatils, on recueille en moyenne 30 p. 100. Le pouvoir calorifique des lignites secs passe de 3.500 à 6.000 calories.

Les lignites se prêtent mal à la carbonisation, car ils se délitent en petits morceaux ; on les agglomère généralement et on en façonne des briquettes. Celles-ci peuvent être traitées en gazogènes. Les Allemands des Provinces rhénanes sont des maîtres passés en matière de Braunkohle ; ils réunissent ordinairement dans un même établissement les appareils d'agglomération, de distillation et de gazéification : les gaz développent la puissance motrice nécessaire. Une tonne de lignite produit moyennement 1.900 mètres cubes de gaz à 1.200 calories et des sous-produits qui ont à peu près la valeur vénale du produit. En installant une centrale à moteurs à gaz auprès d'une usine de lignite, à Bitterfeld, on est arrivé à engendrer le kilowatt-heure au prix de 1 fr. 25 et à gagner beaucoup d'argent. Nos industriels des Bouches-du-Rhône, de l'Isère et de Vaucluse devraient aller faire une visite aux pays occupés pour s'y instruire et apprendre comment ils pourraient utiliser leurs lignites.

LES HOUILLES

La houille est encore une substance végétale, mais elle est minéralisée ; elle vient après le lignite dans l'ordre chronologique : c'est le combustible industriel par excellence.

Les variétés en sont nombreuses et elles donnent lieu à des classifications établies sur des bases très différentes : celle de Gruner est la plus généralement adoptée chez nous. Elle est du reste rationnelle, car elle suit la formation géologique des charbons. Je m'en suis inspiré pour former le tableau suivant :

NUMÉROS	SPÉCIFICATIONS	EMPLOIS	COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE			POURCENTAGE		POUVOIR CALORIFIQUE	NATURE DU COKE
			C	O + Az	H	Coke	Matières volatiles		
1	Houille sèche à longue flamme.....	Chaudières	77	17	6	55-60	45-40	8.000 8.500	Pulvérulent léger.
2	Houille grasse à longue flamme.....	Gaz	83	12	5	60-68	40-32	8.500 8.800	Aggloméré fondu.
3	Houille grasse	Forges	87,5	8	4,5	68-75	32-26	8.800 9.300	Fondu boursouflé.
4	Houille grasse à courte flamme.....	Coke Chaudières	90	6	4	75-82	26-18	9.300 9.600	Compact aggloméré.
5	Houille maigre à courte flamme.	Briques	92	5	3	82-90	18-10	9.600 9.200	Sans cohésion.
6	Anthracite	Foyers domestiq. Gazogènes	94	4	2	90-95	10-5	9.800 8.800	En poussière.

N.-B. — Les pouvoirs calorifiques correspondent à une houille sèche et pure, donc sous déduction de l'humidité et des cendres.

Les industriels n'entrent pas dans toutes les considérations dont nous venons de tenir compte, et ils rangent ordinairement les charbons en cinq catégories, comme il suit :

Charbons gras	40 à 20	p. 100 de matières volatiles
— 1/2 gras	20 à 12	—
— 1/4 gras	12 à 10	—
— maigres	10 à 8	—
Anthracites	8 à 4	—

Les Anglais, plus pratiques encore, ne distinguent que les bitumineux, les charbons à vapeur et les anthracites.

Les noms que portent les houilles, constituent dans les diverses langues un autre élément de discrimination.

Les Belges appellent *flénus* les charbons de la première classe de Gruner.

En Angleterre, on opère les distinctions suivantes :

Splint coal : Houilles maigres flambantes.

Cannel coal : Houilles à gaz.

Le *boghead* est une sorte de schiste bitumineux.

Caking : Houilles collantes.

Non caking : Houilles non collantes.

Cherry coal, *Smithy coal* } Houilles grasses maréchales.

Steam coal : Houilles pour chaudières.

Swansea : Anthracites.

Voici les équivalences allemandes :

Sinterkohle : Forge (le mâchefer se dit *sinter*).

Festkohle : Charbon gras.

Back-kohle : Charbon à coke.

Magerkohle : Maigre.

Il m'a paru utile de faire connaître ces appellations dont le parallélisme n'est évidemment pas rigoureux : mais il convient d'être renseigné sur la valeur moyenne de ces mots, pour lire avec fruit les publications en langue étrangère.

Nos confrères, les écrivains en gazogène, donnent souvent en cette place de copieux tableaux d'analyses et de pouvoirs, qui n'ont d'autre intérêt, et peut-être d'autre résultat, que de faire du volume ; nous n'entrerons pas dans ces détails pour

obéir à la consigne de nos éditeurs, qui est d'être bref et concis (1).

Les considérations qui suivent sont d'un ordre tout pratique pour le travail des houilles en gazogène.

Caractères physiques. — La densité est un caractère spécifique important :

Anthracite	1,75 à 1,40
Charbon gras.....	1,30
Charbon à gaz.....	1,25

Ces chiffres ne tiennent pas compte des vides : il vaut mieux faire état du poids au mètre cube d'un charbon en morceaux de moyenne grosseur.

Anthracite	1.500 kgr. au mètre cube.
Charbon gras	1.200 — — —
Charbon à gaz	1.000 — — —

On classe les charbons, suivant leur grosseur, en gailletins (80 à 50 millimètres), têtes de moineaux (50 à 30 millimètres), braisettes (30 à 20 millimètres) et grains (20 à 10 millimètres) ; en dessous de 10 millimètres, ce sont des fines ou poussiers.

Voici les caractéristiques des diverses espèces de houilles.

Les anthracites ont l'aspect du graphite ; ils présentent de la cohésion ; la cassure en est nette, à angle droit, pas lamelleuse, quelquefois conchoïdale.

Les houilles grasses offrent des reflets noirs et brillants ; elles sont plus noires que les anthracites, ont un peu moins de cohésion et de dureté ; quand elles sont riches en matières volatiles, elles sont à facettes lamelleuses et lisses.

Une couleur plus mate caractérise les charbons à gaz, dont la poussière tire sur le brun. Une longue exposition à l'air les fait déliter ; ils sont moins durs que les précédents.

Les demi-gras sont plus friables.

---

(1) Le lecteur qui désire se documenter plus complètement devra se reporter à l'excellent petit ouvrage de Scheurer-Kestner : *Pouvoir calorifique des combustibles* solides, liquides et gazeux (Paris, Masson, éditeur, 1896).

En les faisant brûler dans la flamme d'un bec Bunsen, on constate une flamme longue et fuligineuse, pour les charbons à gaz, moins de fumée pour les gras; les maigres et les anthracites donnent une flamme courte. Une coloration bleue y dénote la présence du soufre.

Caractères chimiques. — Nous laissons aux ouvrages spéciaux de traiter des méthodes et des résultats d'analyse. Rappelons seulement que les matières volatiles ne comprennent pas seulement les gaz O, Az et H renfermés dans la houille (peut-être à l'état de mélange), mais encore le carbone volatil, c'est-à-dire les goudrons, les hydrocarbures de toute nature et les produits nitreux.

J'emprunte à Lencauchez les résultats suivants relatifs à une houille propre à fournir du coke métallurgique ou du gaz d'éclairage.

Résultats d'analyse.

C	79,50
H	5,00
O + Az	5,50
Cendres	10,00
	100,00

Résultats de la distillation en cornues.

Coke	75	Carbone fixe	65,00
		Cendres	10,00
Gaz d'éclairage (H, CH^4, C^2H^4, CO)			12,50
Goudron à 70 p. 100 de brai sec			6,50
Eaux ammoniacales			6,00
			100,00

Un kilogramme de cette houille donne 230 litres de gaz d'éclairage, renfermant 20 d'H, 58 de CH^4, 9,50 de C^2H^4, 1,15 de divers hydrocarbures, 6,25 de CO, 1,50 de CO^2, 3,50 d'Az et divers.

Les 6,5 p. 100 de goudron que rend cette houille sont composés de deux tiers de brai sec et d'un tiers d'huile brute. Lencauchez dit qu'on a pu isoler dans ces huiles 45 hydrocarbures

dont il ne veut pas s'occuper, parce que ce détail n'a « pas la plus petite influence sur la marche d'un gazogène », et il ajoute avec l'humour qu'on lui connaît ; « c'est profaner la science que d'emprunter aux plus belles découvertes de nos savants des arguments, pour petits opuscules, que leur but et leur style mettent au niveau des morceaux de littérature qui célèbrent les mérites de la douce Revalescière ». Ces lignes étaient imprimées en 1878 : ceux à qui elles s'adressaient ont disparu de la scène du monde.

Une question d'ordre chimique, qui est vraiment pleine d'intérêt, est celle de la teneur en cendres et de la composition de ces dernières. Il est rare qu'une houille ne renferme pas 5 p. 100 de cendres ; 8 p. 100 est un chiffre à remarquer ; les bons charbons industriels en tiennent de 8 à 12 ; mais on rencontre souvent aussi des proportions de 15 à 18. Cette dernière proportion était, avant la guerre, considérée comme fâcheuse sinon rédhibitoire ; mais nous sommes devenus plus conciliants depuis lors. Un grand excès de cendres est encore tolérable, si elles sont infusibles ; dans le cas contraire, on peut en être fort gêné par la formation de mâchefers, qui obstruent les grilles et mettent obstacle au passage de l'air et des gaz.

Le degré de fusibilité dépend surtout du rapport existant entre les quantités de silice, d'alumine, de chaux, d'oxyde de fer et de magnésium, d'alcalis, etc. Une cendre à 60 p. 100 de silice et 30 d'alumine est pratiquement infusible. La présence de la chaux, du fer, etc., augmente la fusibilité ; une certaine quantité de fer et d'alcalis peut abaisser le point de fusion au voisinage de 1000°. Le peu de fusibilité des cendres est un élément de qualité pour une houille, surtout en vue de son utilisation en gazogène : c'est pourquoi nous insistons si longuement sur la question.

M. Couriot, professeur à l'Ecole Centrale, a appliqué les rayons X à l'étude des combustibles au point de vue des cendres qu'ils renferment : on décèle aisément de la sorte l'existence de la pyrite de fer.

Une autre mesure est importante, c'est celle du pouvoir cokéfiant, c'est-à-dire de la propriété qu'a le charbon de terre de ramollir au feu et de s'agglutiner à une température déter-

minée. On l'apprécie en mélangeant le charbon en poudre avec du sable sec et en chauffant au rouge vif en creuset de porcelaine ; on cherche quel poids maximum de sable peut ainsi être aggloméré par carbonisation, en donnant un culot solide.

LES COKES

Il me reste à dire un mot des cokes, considérés comme des combustibles.

Le coke ordinaire est un produit artificiel, engendré par la carbonisation en vase clos d'une houille renfermant moyennement de 17 à 22 pour cent de matières volatiles. Autrefois, on n'employait à cet effet que des charbons d'une composition déterminée ; mais on a appris à travailler des mélanges et il existe maintenant ce qu'on appelle du coke synthétique. Le rendement d'une houille en coke est très variable : il est compris entre 60 et 90 p. 100, mais la valeur du produit varie aussi entre de larges limites.

La cokéfaction est une opération bien simple en apparence, mais assez complexe à vrai dire, attendu qu'elle s'effectue dans des conditions différentes sous des influences multiples de formes d'appareil, et de procédés de travail. Au début, le peu d'air resté dans le four donne lieu à une combustion, qui précède la distillation ; l'eau se combine en même temps que la température monte. Un premier dégagement de gaz se produit dès 450° : en même temps la houille se ramollit. Les premiers gaz sont des carbures éthyléniques, auxquels s'ajoutent les homologues supérieurs. Au rouge clair, la vapeur d'eau, subissant l'action du carbone incandescent, donne de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone et de l'anhydride carbonique. A 700°, les hydrocarbures distillés sont remplacés par de l'hydrogène, lequel forme avec le carbone du méthane, de l'acétylène (en petite quantité) et des goudrons. Enfin surviennent de nouvelles combinaisons et il en résulte des éléments qui deviennent volatils. La nature du gaz produit dépend assurément de la composition du charbon, mais la manière dont le travail est conduit et l'allure du feu ont une part égale dans le résultat. A basse température, les produits de la série grasse prédominent ; à

haute température ce sont ceux de la série aromatique. A 1000° pour les houilles grasses, à 1200° pour les anthracites, le dégagement des gaz a pris fin : les matières volatiles sont éliminées, il reste les éléments fixes et le carbone de la dissociation des hydrocarbures. L'azote du charbon entre en combinaison vers 1400°, et donne naissance aux produits ammoniacaux : ils se développent alors activement, puis il s'en décompose. La présence de l'eau et un chauffage plutôt lent augmentent leur proportion. La distillation à haute température pousse à la production du gaz et à sa richesse ; en prolongeant sa durée, on réduit la quantité d'hydrocarbures.

Le départ du gaz durant l'opération donne lieu à une diminution de volume de la masse en ignition, et donne naissance aux pores du coke. Quand on veut augmenter sa densité, on comprime la houille dans le four. La compression a aussi pour effet de coller les fragments, quand on traite des houilles maigres, et de leur donner un pouvoir agglomérant ; elle empêche les houilles grasses de se boursouffler.

En usine à gaz, on distille en cinq heures : Payen a donné le tableau des proportions relatives en fonction du temps.

100 volumes	C^2H^4	CH^4	H	CO	Az
1re heure	13	82,5	0	3,2	1,3
2e —	12	72	8,8	1,9	5,3
3e —	12	58	16	12,3	1,7
4e —	7	56	21,3	11	4,3
5e —	0	20	10	10	10

Ces données nous seront utiles pour l'étude ultérieure de la gazéification.

Dans les fours à coke, la durée de la distillation est singulièrement prolongée : elle peut se poursuivre 30 heures. Le gaz devient de plus en plus pauvre au fur et à mesure que l'opération se poursuit. Le coke métallurgique est beaucoup plus dur et plus serré que celui des usines à gaz.

Les anglais donnent le nom de *coalite* ou de demi-coke au produit d'une distillation incomplète, opérée à basse température : il contient encore une certaine proportion de matières volatiles.

Le coke ordinaire n'est jamais entièrement dénué de matières volatiles : il peut en renfermer 2 p. 100. Généralement il y a 5 p. 100 d'humidité. Un hectolitre de coke pèse de 35 à 45 kilogrammes.

Scheurer-Kestner estime à 8.047 calories le pouvoir du coke des cornues à gaz et à 8.200 celui des fours alimentés au charbon de Mons : cendres et humidité déduites.

LES COMBUSTIBLES LIQUIDES

S'il n'existe pas encore de gazogènes, dans le sens le plus étroit du mot, dans lesquels on fasse emploi de combustibles liquides, pour engendrer un gaz combustible, avec le concours de la chaleur, on a depuis longtemps mis en usage des gazofacteurs par distillation, qui ont rendu de réels services. Il y a donc lieu de nous occuper de ces combustibles.

Ce sont des produits naturels ou des résultats d'opérations industrielles, dont ils sont les résidus ou les sous-produits.

Les premiers sont les plus importants : sous le nom d'huiles minérales et de pétroles,on range les huiles qui surgissent toutes formées du sein de la terre ; l'Amérique, les Indes, le Caucase, la Roumaine, la Galicie, etc., en fournissent annuellement des millions de tonnes dont on extrait les produits les plus variés. On peut les brûler à l'état brut, mais c'est alors du gaspillage, puisqu'on ne tire point parti des éléments plus riches qu'elles contiennent. Le plus généralement, ce sont les résidus de raffineries qui sont employés comme combustibles, sous le nom générique de *mazout*, qui est d'origine russe.

Ces produits, presqu'exclusivement formés de carbone et d'hydrogène (carbures forméniques, éthyléniques, aromatiques ou autres) ont un pouvoir calorifique extrêmement élevé, qui peut dépasser 11.000 calories au kilogramme. Ils ne laissent pour ainsi dire pas de cendres et se prêtent à un réglage excellent de leur combustion. Certains mazouts donnent autant de vapeur que 1,750 de bonne houille, quand on les emploie au chauffage des chaudières.

La distillation des schistes bitumineux met à la disposition de l'industrie des produits analogues aux précédents, sus-

ceptibles aussi d'un excellent emploi ; la France pourrait extraire de son sol plus d'un million de tonnes par an. L'Ecosse en produit bien plus.

Les usines à gaz et les fours à coke fournissent comme sous-produits des goudrons, dont on tire toute une gamme d'éléments combustibles, huiles, connues sous les noms d'huiles de goudron (solaröl), d'huiles à gaz (gazöl), d'huiles de paraffine, etc. possédant toutes une grande valeur calorifique. La naphtaline, solide à la température ordinaire, d'un pouvoir de 9.000 calories, très bon marché relativement, dont l'Angleterre seule produisait une cinquantaine de mille tonnes annuellement, serait aussi susceptible d'emplois divers qu'on n'a encore qu'ébauchés.

De nombreux appareils de distillation, dans lesquels un filet d'hydrocarbure tombe dans l'intérieur d'une cornue en fonte chauffée au rouge sombre, et se convertit en gaz, ont été imaginés, et ont conduit à des résultats très appréciés à tous égards. Avec des matières coûtant (autrefois) 200 francs la tonne, on obtenait un gaz extrêmement riche qui revenait à un prix très inférieur à celui du gaz de ville. Le gaz Pintsch, qui était aussi un gaz de pétrole, avait acquis une certaine vogue, bien justifiée par ses qualités remarquables, et par un prix de revient fort avantageux.

LES DÉCHETS ET LES REBUTS

Occupons-nous d'abord des déchets et commençons par les sciures et les copeaux de bois qu'on laissait perdre autrefois, mais qu'on a plus tard appris à brûler, et dont on fait aujourd'hui d'excellentes briquettes, en employant le goudron, récupéré aux gazogènes, comme agglutinant. C'est en Suède et en Autriche qu'on a obtenu les meilleurs résultats : un mètre cube de ces briquettes équivaut à trois quarts de kilogramme de houille ordinaire.

Sur les tourbières, on recueille des poussiers que les chemins de fer de l'Etat suédois brûlent dans les foyers de leurs locomotives, après les avoir séchés et comprimés. Leur valeur calorifique est comparable à celle des sciures de bois.

Le lavage des charbons donne des *schlamms*, que l'on recueille dans de vastes bassins de dépôt et que l'on laisse égoutter pour les dessécher sommairement. On facilite leur utilisation en les soumettant à un lavage spécial, pour les débarrasser des boues argileuses qui les souillent plus ou moins.

Les fines, qui s'accumulent sur le carreau des mines, et partout où se fait la manutention du charbon, les poussiers de coke, les menus de lignite, etc., sont l'objet d'une agglomération par le brai ou les goudrons ; en opérant les mélanges d'une façon rationnelle, on obtient des briquettes présentant la proportion que l'on veut de matières volatiles. Elle varie généralement de 17 à 22 p. 100, humidité déduite. L'élévation de prix des brais a amené les fabricants à leur substituer comme substance agglutinante des résines, mélasses, pulpe de papier, substances gélatineuses, etc. ; on a obtenu de bons produits avec la naphtaline et le résidu pétrolique appelé huile hydrolène en Pensylvanie. La pression exercée sur la matière pour la mouler a une grande influence sur la combustibilité et la tenue au feu des briquettes ou des boulets.

La tannée brûle bien en foyer, surtout si on la dessèche suffisamment et qu'on y mêle du charbon ; avec une addition de fines, dans la proportion de 10 p. 100, on obtient en chaudière 1 kgr. 500 de vapeur (à 6 kilogrammes de pression) par kilogramme consumé.

Mais tous ces combustibles se prêtent bien mieux à la gazéification qu'à la simple combustion sur grille, et conduisent à des rendements très supérieurs en énergie.

On a appris à tout utiliser en gazogène ; résidus de toute espèce, déchets de lin, de chanvre et de manille, bagasse (fibre de la canne à sucre), grignons d'olives, d'amandes, coquilles de noix de coco, gousses de café et de cacao, noyaux de maïs, graines de coton, gousses de riz, rebuts de thé, marc de raisin, que sais-je encore, toutes espèces de ligneux constituent aujourd'hui des matières qu'on serait coupable de ne pas gazéifier.

Leur valeur relative a été établie par les ingénieurs de la maison Crossley, à qui nous devons le parallèle suivant :

Nature des combustibles gazéifiés	Poids nécessaire pour développer un cheval heure effectif en moteur à gaz
	kgr.
Tourbe à 25 p. 100 d'humidité.....	1,150
Lignite.....	1,000
Déchets de bois à 50 p. 100 d'humidité	1,000 à 2,000
Résidus de tannerie	2,200
Suie de locomotive	0,700 à 1,500
Coquilles de noix de coco	0,700 à 1,500
Gousses de riz.....	1,400 à 1,800
Noyaux de maïs.....	1,600
Déchets d'olives	0,900
Résidus de cannes à sucre.....	0,900 à 1,200

Les gains réalisés dans cette voie nouvelle ne sauraient assez être mis en lumière et nous citerons encore une installation faite par MM. Crossley, à Liverpool, dans une fabrique d'allumettes, qui donnent un énorme volume de déchets, sous forme d'écorces, de brins de sciures, d'une valeur commerciale nulle ; depuis 1913, les gazogènes alimentent un moteur de 350 chevaux, qui procure journellement une économie de 11 tonnes de charbon. Depuis lors, la même firme a monté 400 chevaux à Londres et autant à Chelsea.

Ces résultats sont d'un grand intérêt, car il n'y a que le gazogène qui permette de consommer de tels combustibles ; nos constructeurs français savent les employer aujourd'hui aussi bien que les Anglais.

On a été jusqu'à tirer parti des gadoues.

Larousse donne deux définitions du mot ; une qu'il faudrait traduire en latin, ce dont on me dispensera ; l'autre fait de la gadoue « un engrais constitué par les ordures ménagères ». C'est le contenu des poubelles, déposées devant nos portes, recueilli par les tombereaux des services des villes. Débarrassé des fragments de verre et de faïence, des scories et des pierres sorties des foyers et des boîtes de conserve qui l'encombrent, il constitue une matière fermentescible qu'on utilise en quelques endroits, et un combustible qu'il y a grand intérêt à brûler. On a cité une ville d'Angleterre qui retirait 42.500 francs par an d'une usine à vapeur dont les foyers de chaudières étaient

alimentés de la sorte. Aux Etats-Unis d'Amérique, la ville de Savannah, de 80.000 habitants, chauffe deux chaudières, dont la vapeur actionne les pompes d'élévation des eaux et permet d'économiser 2.500 francs par mois sur la dépense de charbon de cette usine. Mais le procédé souleva des objections de la part des maîtres en agriculture qui déploraient la perte des produits azotés. La critique était juste ; toutefois, il a été facile d'y satisfaire en gazéifiant ces résidus organiques dans des gazogènes à récupération ; nous dirons plus loin comment cela a été fait par les appareils Riché, Pierson, Galaine et Houlbert et autres.

M. Damour a même réussi à gazéifier les boues extraites des bassins de décantation de Colombes, qui renferment après dessiccation 53 p. 100 de matières organiques ; en les mélangeant de poussier de coke, on fabrique de bon gaz, qui convient bien à l'alimentation des moteurs.

On a calculé que cent tonnes de boues permettraient de fournir une puissance de 400 chevaux pendant vingt-quatre heures.

LES PHÉNOMÈNES DE COMBUSTION

La combustion d'un combustible consiste dans une oxydation de ses éléments par l'oxygène de l'air qui arrive à son contact.

Pour en dégager tout le calorique qu'il peut donner, il faut que l'oxydation soit complète.

Les combustibles employés dans l'industrie, étant tous formés de carbone et d'hydrogène, une combustion complète aboutit à la formation d'anhydride carbonique CO^2 et d'eau H^2O.

Une combustion complète n'est pas facile à obtenir : il faut pour cela réaliser trois conditions. La première est de fournir le volume d'air nécessaire ; la seconde, d'assurer un contact intime du combustible et du comburant ; la troisième, de maintenir le milieu où la réaction s'opère à une température assez élevée, car si cette dernière s'abaisse trop, la combustion s'arrête. Toutefois une température trop élevée produirait une dissociation et mettrait obstacle aussi à une combustion complète; mais hâtons-nous de dire que, dans les foyers industriels, cette limite n'est rarement, sinon jamais atteinte. L'écueil

opposé est au contraire à éviter, attendu que l'on donne toujours un excès d'air et qu'il résulte plutôt de cet excès une diminution de température.

Il est aisé de calculer le volume d'air absolument nécessaire à la combustion entière d'un combustible dont on connaît la composition. Voici les éléments de ce calcul.

L'air pris dans les conditions atmosphériques moyennes, à 15° sous 760 millimètres de pression, saturé de vapeur d'eau aux trois quarts, a la composition suivante :

Oxygène	20,50	volumes
Azote	78,20	—
Anhydride carbonique	0,05	—
Vapeur d'eau	1,25	—
	100,00	volumes

Le volume d'air renfermant 1 kilogramme d'oxygène est par suite égal à 3 mc. 600.

Un équivalent de C, pesant 6, exige 2 équivalents d'O, d'un poids égal à 16, pour passer à l'état de CO^2 ; donc 1 kilogramme de C prend $\frac{16}{6}$ d'O, ce qui représente $3{,}600 \times \frac{16}{6} = 9$ mc. 600 d'air.

Un kilogramme d'H a besoin de 8 kilogrammes d'O pour brûler ; cela fait un volume d'air égal à $3{,}600 \times 8 = 28$ mc. 8.

	Volume d'air nécessaire	Volume des gaz brûlés à 0° et 760 m/m
	mc.	mc.
Bois à 30 p. 100 d'eau	3,406	4,215
Tourbe	5,837	6,402
Lignite	7,377	7,805
Houille maigre à longue flamme	7,868	8,275
Houille grasse	8,847	9,226
Houille grasse	8,877	9,205
Houille grasse à courte flamme	8,978	8,978
Houille maigre	9,193	9,437
Anthracite	9,142	9,325

Pour un combustible quelconque renfermant xC et yH, on partira de ces nombres pour évaluer le nombre de mètres cubes d'air qu'il lui faut.

Le tableau ci-dessus donne les calculs faits.

On donne toujours plus d'air qu'il n'en faut, pour être sûr qu'il y en a assez.

L'air vient-il à manquer, la combustion ne peut plus être complète ; le fait se manifeste alors par la production d'oxyde de carbone, CO.

Dans ce cas, il y a oxydation partielle des éléments du combustible. Le phénomène devient alors très complexe. En effet l'oxyde de carbone engendré est sollicité à se combiner avec l'oxygène qu'il rencontre, pour former CO^2 ; mais en même temps CO^2, en contact avec C, à très haute température, peut lui céder la moitié de son oxygène pour revenir à l'état de CO, suivant la formule $CO^2 + C = 2CO$; de plus, on sait que CO lui-même, placé en face de C, peut donner CO^2. Il naît donc, au sein du foyer, des transformations chimiques locales, dont il est extrêmement difficile de suivre le développement ; on a essayé de s'en rendre compte en effectuant des prises de gaz en divers points de la zone de combustion, pour essayer de prendre sur le fait ces oxydations et ces réductions inverses, mais l'opération est bien délicate ; est-on certain d'ailleurs d'avoir des témoins infaillibles de ce qui se passe dans ce milieu en état instable ? En retirant l'éprouvette, ne s'y produit-il pas un changement nouveau ?

Les théoriciens ont tenté d'apporter de la lumière dans une question que les praticiens n'arrivaient pas à élucider, et ils étaient dans leur rôle ; suivons-les dans leurs interprétations ingénieuses. Il posent en fait qu'entre ces corps, C, O, CO^2 et CO se trouvant dans des conditions déterminées de température et de pression, il existe un certain état d'équilibre correspondant, qui se modifie quand la température change et quand la pression change, en obéissant à la loi de Le Chatelier et à celle de Van't Hoff, dites lois du déplacement de l'équilibre par variation de température et de pression. Ils en déduisent certaines notions sur le sens des réactions qui accompagnent ces variations ; mais les conclusions utiles se réduisent à peu de

hose ; il y aurait intérêt à développer une température élevée, à multiplier l'étendue des surfaces de contact entre les gaz et les fragments du combustible incandescent en évitant de faire prendre au courant gazeux nue vitesse exagérée, pour intensifier la production de CO, dans les cas où l'on poursuit ce résultat. C'est bien ce qu'un raisonnement élémentaire permettait de prévoir.

On simplifie d'ailleurs l'étude du phénomène en ne tenant pas compte des hydrocarbures, qui distillent du combustible amené à une haute température, et de la vapeur d'eau, formée inévitablement avec le charbon le plus sec, et souvent amenée intentionnellement dans la réaction. Nous ne possédons guère d'indications sur ce qui se passe dans un foyer dont quelques points peuvent atteindre une température supérieure à 1.200°. Les uns font intervenir des dissociations auxquelles les autres se refusent à croire ; je ne suis pas de l'avis de ces derniers. Dans les expériences classiques de Sainte-Claire Deville, effectuées dans un tube de porcelaine, on constate que la vapeur d'eau subit déjà une décomposition partielle vers 1000° ; quelles réactions se produisent entre la vapeur d'eau et le carbone incandescent ? L'anhydride carbonique et l'oxyde de carbone ne sont-ils pas eux-mêmes dissociables ? Dans le tube *chaud et froid* de Sainte-Caire Deville, on observe un dépôt de carbone extrêmement divisé. Et puis les carbures sont décomposables par la chaleur ; CH^4 et C^2H^4, pour ne parler que de ceux-ci, donnent de l'hydrogène et de l'acétylène d'abord, puis de l'hydrure d'éthylène, de la benzine, etc. Le savant qui débrouillera l'écheveau des décompositions pyrogénées n'est sans doute pas encore né. Que de difficultés à suivre le fil des réactions ? Comment se produit le charbon des cornues ? Pour finir, je ne crois pas qu'on sache expliquer le fait suivant de l'opération dite l'autocarburation : en mélangeant 20 p. 100 de gaz à l'eau, à 2.679 calories, et 80 p. 100 de gaz de houille à 5.180 calories, dans une cornue en travail, on devrait obtenir un gaz mixte ayant un pouvoir de $5.180 \times 0{,}8 + 2.679 \times 0{,}2 = 4.680$; or on trouve au mélange un pouvoir de 5.090 calories ; d'où vient ce gain de 410 calories ? (1)

---

(1) L'autocarburation a été imaginée par le professeur Vivian Lewes ; le fait que je signale a été relevé par M. William Yung.

Gardons-nous donc de nous prêter à un étalage de savoir quelquefois aussi vain qu'il est prétentieux, et tenons-nous fermement à la rampe que constitue une expérimentation judicieuse et rigoureuse ; tant qu'on y garde la main, on peut glisser ou faire un faux-pas, mais on ne tombe pas, car on se redresse aussitôt.

Parmi les faits observés, ceux-ci sont à retenir.

Les gaz issus de la zone de combustion, où la température est la plus élevée, venant à traverser des couches à températures décroissantes, peuvent se transformer et devenir moins stables; au contraire, si les gaz engendrés dans une zone arrivent dans une autre plus chaude, il y gagnent de la stabilité et les goudrons se décomposent ; on ne trouve plus que les carbures les plus volatils, notamment CH^4 et C^2H^4, au milieu de H, CO^2 et CO.

La présence du diluant Az ou vapeur d'eau dans l'air comburant, atténue les phénomènes et tend à faire baisser la température de la zone de combustion, et empêche la dissociation d'avoir lieu ; les produits sont alors riches en goudrons et en combinaisons azotées.

Vient-on à augmenter la pression de l'air, ce qui a pour résultat de fournir plus d'oxygène par unité de volume, ou bien encore, procède-t-on à un enrichissement de l'air en oxygène — c'est aujourd'hui industriellement possible — les températures montent et les décompositions s'accentuent ; les produits ne renferment plus de goudrons, ni de composés ammoniacaux, on n'y trouve plus que H, Az, CO, un peu de CH^4 et une faible proportion de CO^2.

Enfin, en soufflant énergiquement de l'air à travers une couche de combustible de petite épaisseur, les produits ne contiennent guère que CO^2 et le charbon est porté à une très haute température dans toute sa masse ; l'anhydride carbonique ne trouve pas l'occasion de se réduire et il n'en a du reste pas le temps.

Une dernière remarque. Pour entretenir une bonne combustion, il est nécessaire d'assurer la continuité du contact du combustible avec le comburant, et à cet effet, il faut laisser dégager les gaz déjà brûlés (l'expression est figurée) et ne laisser s'accumuler ni les scories, ni les cendres, qu'elles soient fusibles ou non.

CHAPITRE III

LES TYPES DE GAZOGÈNES ET LEUR THÉORIE

Les gazogènes sont aussi difficiles à classer qu'à définir. Faut-il prendre pour base la nature du combustible à mettre en œuvre ou bien celle des gaz que l'on veut obtenir ? Les moyens auxquels on a recours pourraient aussi servir de critérium de différenciation.

Mais ces considérations sont difficiles à dégager les unes des autres, car elles s'enchevêtrent et se confondent; il ne faut, dès lors, pas s'étonner que les classifications adoptées dans les divers traités de gazogènes présentent un caractère aussi subjectif qu'objectif, et qu'elles ne concordent pas.

Partant de l'idée que la classification des appareils n'a d'autre objet que d'apporter de l'ordre et de la méthode dans leur étude et de mettre en lumière le but poursuivi et les résultats obtenus, je propose d'établir les distinctions qui suivent :

- I. Gazogènes à distillation..
  - Cornues à gaz de houille.
  - Fours à coke.
  - Cornues à autoréduction.
- II. Gazogènes
  - De chauffage.
  - Pour puissance motrice.
- III. Gazogènes
  - Pour gaz à l'air.
  - Pour gaz à l'eau.
    - à marche intermittente.
    - à marche continue.
  - Pour gaz mixte.
- IV. Gazogènes
  - à aspiration simple.
  - à insufflation
    - par injecteur.
    - par ventilateur.
    - par compresseur.

V. Gazogènes
- à charbons anthraciteux, à nettoyage, lavage et épuration des gaz.
- à charbons bitumineux
  - à récupération en allure froide.
  - à transformation pyrogénée à zone de réaction.
- à charbons cendreux
  - à mécanismes.
  - à joint hydraulique.
  - à barreaux amovibles.

VI. Gazogènes spéciaux. A charbon pulvérisé, etc.

Le premier examen des appareils auquel nous allons nous livrer n'est pas descriptif ; il ne fait connaître que leur forme générale dans la mesure nécessaire pour établir la théorie de leur fonctionnement.

I. — GAZOGÈNES A DISTILLATION.

1. **Cornues à gaz de houille.** — Les houilles à gaz sont distillées en vases clos ; la forme classique de ces cornues est celle d'un cylindre ayant une section en D renversé. Elles sont disposées au nombre de 7 ou de 9 dans un four chauffé, soit directement avec du coke, soit plus avantageusement avec des gaz de gazogènes, placés sous les fours, avec régénération du calorique. La température du four doit être maintenue au moins à 1.100° ; la distillation d'une charge dure environ quatre heures.

La nature et la composition du produit de la distillation varie au cours des phases successives du travail. Au début, le gaz possède un grand pouvoir éclairant, dû à sa richesse en méthane, en éthylène, en acétylène, en benzine, etc. ; la température s'élevant, il s'y joint de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone ; le méthane disparaît entièrement sur la fin de l'opération et le pouvoir lumineux est alors beaucoup plus faible. La proportion des produits condensables ne change pas beaucoup du commencement à la fin.

Il n'y a pas de théorie à donner de la distillation, qui a pour effet de gazéifier une houille en la décomposant en ses éléments ; les gaz et les hydrocarbures s'en dégagent, le carbone fixe reste avec celui qui a pu se déposer dans les transformations physiques et chimiques qui ont lieu entre les substances consti-

tuant le charbon traité par la chaleur. Les transformations sont en général endothermiques ; une source de chaleur étrangère fournit l'énergie nécessaire aux changements d'état.

2. **Fours à coke.** — Dans la cornue, le coke est le résidu ; ici, il constitue l'objet cherché, les gaz constituant les sous-produits de l'opération.

On commença par carboniser la houille en meules ; une partie de la houille y brûlait. Puis on employa les fours de boulangers, avec une introduction d'air suffisante pour maintenir la température. Les fours plus récents sont chauffés extérieurement, comme les cornues, ce chauffage étant effectué par la combustion des gaz dégagés de la houille même, qui circulent dans des carneaux enveloppants. Ce chauffage à travers les parois différencie ces fours des précédents. Enfin, M. Carvès de Saint-Etienne s'avisa de récolter les sous-produits : les goudrons et l'ammoniac sont recueillis par lavage du gaz et par refroidissement dans l'eau ; il y a de ce chef une perte sérieuse de chaleur, mais elle est largement rachetée par la valeur des sous-produits. Si l'Angleterre, qui fabrique annuellement 8 millions de tonnes de coke, appliquait partout ce procédé, elle y gagnerait annuellement près de 2 millions de Livres. Les gazdépouillés sont utilisés en partie au chauffage des fours ; le reste trouve de multiples emplois, ainsi que nous le verrons.

Pour obtenir le coke dense que demandent les métallurgistes, on traite des mélanges de houilles auxquels on fait subir une préparation mécanique appropriée et notamment une compression et un lavage. L'humidité gardée par le charbon absorbe de la chaleur de vaporisation, mais elle est d'autre part très avantageuse.

Les formes et dimensions des fours varient avec la nature des houilles traitées. Leur fonctionnement est continu. On obtient en coke de 70 à 73 p. 100 du poids du chargement, La durée d'une opération varie de vingt-quatre à soixante heures ; le chauffage ne doit être ni trop brusque, ni trop violent, parce qu'il en résulterait un boursoufflement excessif.

100 kilogrammes d'une bonne houille de la Sarre fournissent 70 de coke, 5 de goudron et 1 de sulfate d'ammoniaque.

Le coke des fours contient encore 2 p. 100 de matières volatiles, mais il est difficile de savoir si elles proviennent de la houille ou bien si elles ont été absorbées pendant ou après le refroidissement.

La quantité et la qualité des gaz sortis des fours varient beaucoup au cours d'une opération ; on y remédie en réunissant les gaz des cornues; ils se corrigent ainsi l'un par l'autre ; la pression se répartit uniformément entre les appareils et ceux qui en débitent avec excès en fournissent aux autres.

On avait annoncé d'abord que le coke des fours à récupération valait moins : cette affirmation était sans fondement et le rendement, loin de baisser, s'améliore sensiblement ; le contraire étonnerait. Au point de vue exclusivement thermique, le rendement peut être moins bon, parce qu'on perd la chaleur sensible emportée par les gaz.

Cette question du rendement mérite d'arrêter un moment notre attention. Il tendrait vers l'unité, s'il n'y avait pas de pertes extérieures de calorique dans la distillation ; mais il en est de nombreuses et d'inévitables, dans les cornues comme dans les fours. Le coke sort incandescent des appareils, il faut l'éteindre : les calories s'en vont en vapeur, que certains inventeurs ont cherché à récupérer. En même temps, le coke brûle à l'air. D'ailleurs les enfournements aussi bien que les défournements font dissiper des calories. De plus, il en rayonne par la garniture des fours. L'utilisation de la chaleur pourrait assurément être meilleure, mais on ne s'en préoccupe guère, il faut le reconnaître; on se dit sans doute qu'il est toujours temps de bien faire.

3. **Cornues au bois avec autoréduction.** — Bertier, Sauvage et Ebelmen avaient étudié les phénomènes qui se présentent dans la distillation du bois ; avec du bois très sec, on obtenait par kilogramme, 223 grammes de charbon de bois, 425 grammes de gaz combustibles, 145 grammes de goudrons, 191 d'eaux acides condensées et 16 de cendres. Avec du bois plus ou moins vert, le poids des gaz permanents pouvait être estimé au tiers du poids du bois. Ces gaz étaient formés d'hydrogène, d'oxyde de carbone et d'hydrocarbures divers : ils étaient moyenne-

ment riches, mais entraînaient des huiles empyreumatiques, qui allaient se condenser dans les canalisations. M. Riché a pensé qu'il y avait là des sources d'énergie calorifique, et il a créé des appareils qu'on a dénommés, à tort peut-être, « gazogènes auto-réducteurs à double combustion ».

Du bois, qui n'a pas besoin d'être sec, remplit des cornues verticales, chauffées par un foyer extérieur ; les gaz distillés, mêlés d'un peu d'air, traversent ensuite une deuxième cornue, chauffée dans le même four, renfermant une colonne incandescente de charbon de bois, résidu d'opérations précédentes. Au contact des braises, les carbures, les goudrons, l'acide carbonique et la vapeur d'eau qui les accompagnent, donnent de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène ou du méthane. A noter que l'humidité naturelle du bois fournit la vapeur d'eau nécessaire aux réactions, dont nous nous réserverons de parler plus loin. Disons seulement que la colonne de réduction a besoin d'être chauffée, car il faut lui fournir le calorique nécessaire aux opérations endothermiques qui s'y développent : la combustion de la braise pourrait n'y point suffire, si l'on n'y veillait pas.

Ces procédés sont intéressants, attendu qu'ils ont permis de traiter avec bénéfice des déchets de bois renfermant jusqu'à 60 p. 100 d'eau.

Les gaz Riché ont alimenté des moteurs à gaz dans de bonnes conditions.

II. — GAZOGÈNES DE CHAUFFAGE ET DE PUISSANCE MOTRICE

Il y a lieu de distinguer, mais il n'existe pas de différence essentielle entre ces appareils : les premiers sont toutefois plus simples que les autres, auxquels on demande des gaz plus soignés. Les deux applications sont également importantes. A mon sens, les livres que l'on écrit aujourd'hui sur les gazogènes oublient trop les premières, et ils n'ont plus d'yeux que pour les installations de puissance motrice par les gaz pauvres : c'est une exagération de laquelle je voudrais me garder.

Il avait été reconnu dès les premiers temps des théories de

la Chaleur, que l'emploi d'un combustible gazeux pouvait présenter plus d'avantages que celui d'une combustible solide : plus tard, lorsque les bilans du doit et de l'avoir des foyers eurent été établis sur une base solide, on constata que ces avantages dépassaient les inconvénients et les pertes inséparables de l'opération de la gazéification ; en d'autres termes, les bénéfices procurés par les gazofacteurs étaient supérieurs aux déchets qu'ils entraînaient et aux frais qu'ils occasionnaient.

Les alandiers des maîtres verriers étaient sans doute fort primitifs, mais leur installation au pied des fours réduisait au minimum les fuites du calorique, qui se trouvait développé et utilisé pour ainsi dire au même point. La condition idéale d'emploi des gaz est d'arriver chauds dans le foyer dans lequel on les brûle : ils y portent leurs calories et tout ce qu'ils renferment de combustible. C'est ainsi qu'on obtient les températures les plus élevées, surtout si l'air carburant est amené lui-même déjà très chaud. Les gaz prennent un contact intime avec les surfaces à chauffer ; ils se prêtent à une centralisation d'effet aux points que l'on veut favoriser. On obtient leur combustion complète par le minimum d'air nécessaire aux réactions.

Cet avantage existe encore quand on chauffe des chaudières à vapeur, des étuves et autres appareils du même genre : combustion excellente, réglable à volonté, suppression des scories et des décrassages du feu, remarquable souplesse dans le fonctionnement. Joignons à cela le bénéfice que procurent certains appareils spéciaux pour la combustion des gaz, tels que les remarquables chaudières sans flamme du système Bone (1), qui possèdent un rendement de près de 90 p. 100, alors que les générateurs habituels, munis d'économiseurs perfectionnés, rendent rarement 80.

---

(1) Ces chaudières sont dues au professeur Bone deLeeds : elles constituent une ingénieuse application d'une découverte, faite en 1816 par Sir Humphry Davy, développée en 1887 par l'ingénieur Fletscher et appelée par lui « Combustion catalytique ». Un mélange de gaz combustible et d'air rencontre des corps réfractaires, qu'il porte au rouge et au contact desquels il continue de brûler sans donner de flamme. Les tubes des générateurs tubulaires sont bourrés de fragments de briques qui sont maintenus au rouge.

A la sortie des carneaux de ces appareils, la température des gaz brûlés est de 200° environ au bout de la chaudière, et de 100° à l'extrémité du régénérateur qui lui fait suite ; ces gaz renferment 1,2 p. 100 d'oxygène, 18,1 p. 100 d'anhydride carbonique et pas trace d'oxyde de carbone, ce qui est l'indice d'une combustion parfaite, obtenue par le minimum d'air.

Le développement extraordinaire du moteur à combustion interne a donné lieu à un autre emploi, non moins remarquable, des gaz sortis des gazogènes; les gaz de hauts-fourneaux que l'on avait longtemps crus trop pauvres et surtout trop souillés de poussière, se sont eux-mêmes prêtés à une utilisation directe qui a produit une véritable révolution en métallurgie. Les rendements des moteurs à gaz dépassent de beaucoup celui des meilleures machines à vapeur et ne sont dépassés que par les moteurs à combustibles liquides, du type Diesel. Nous ne faisons qu'indiquer ici, en passant, le bénéfice que procurent les gaz de gazogènes, quels qu'ils soient.

Mais ces gaz demandent à être suffisamment débarrassés des poussières qu'ils entraînent et des goudrons qui les accompagnent, sinon il se produit des obstructions et des engluements de conduites, de soupapes et de cylindres, des allumages prématurés et des ratés d'allumage et toute une suite de difficultés que l'on n'a pas toujours réussi à écarter.

Le gazogène pour moteurs est donc, non pas d'une espèce particulière, mais d'une qualité spéciale; il constitue à ce point de vue une catégorie d'un ordre supérieur ; il n'y a pas de raison de le décrire à part, car c'est surtout par les accessoires qui lui sont adjoints, qu'il doit les propriétés de ses gaz.

III. — GAZOGÈNES SPÉCIFIÉS PAR LEURS GAZ

1. **Gazogènes au gaz à l'air.** — Dans ces appareils, une combustion a lieu en présence d'une quantité d'air insuffisante ; les gaz engendrés étant incomplètement oxydés, sont encore combustibles. Ils renferment l'azote de l'air introduit dans le foyer et une proportion indéterminée de CO^2 et de CO. On peut augmenter la quantité de CO, présente dans le mélange, en don

nant à la couche de combustible une certaine épaisseur ; en effet, dans ce cas, l'anhydride carbonique rencontre sur son chemin du carbone incandescent, il partage avec lui son oxygène et produit un volume double de CO, de par la réaction :

$$CO^2 + C = 2CO.$$

Faisons le compte thermique des opérations.

C + O = CO ; chaleur dégagée par kilogramme de C = 2.454 calories (1).

$C + O^2 = CO^2$; chaleur dégagée par kilogramme de C = 8.138 calories.

$CO + O = CO^2$; chaleur dégagée par kilogramme de C = 5.684 calories.

Ces réactions sont exothermiques : la suivante est endothermique.

$$CO^2 + C = 2CO.$$

Cette dernière transformation, qui améliore le premier produit, est importante, attendu que 1 kilogramme de carbone peut réduire 3 kgr. 667 d'anhydride carbonique, mais l'absorption de chaleur n'est point considérable, d'autant moins que cette transformation seconde est limitée par son inverse, formation de CO^2 par CO ($2CO = CO^2 + C$), réglée par les conditions de température et de pression du mélange.

En somme, si nous négligeons ces actions concomitantes, nous voyons que sur 8.138 calories du charbon, il s'en dégage 2.454 dans la cuve du gazogène et que les gaz engendrés peuvent en développer au dehors 5.684, par la combustion de leur CO. Le rendement théorique de l'opération est donc *au moins* égal à $\frac{5.684}{8.138} = 0{,}70$. Je dis « au moins », puisque le reste des calo-

---

(1) Je fais usage des chiffres de Berthelot ; 12 grammes de charbon amorphe dégagent en brûlant, 97.650 calories ; si le carbone était pris à l'état de diamant, on ne recueillerait que 94.300 calories. Pour le carbone amorphe, il y a combustion vive dans l'oxygène, due à la température de 330°.

ries du charbon a donné aux gaz une chaleur sensible qui est utilisable.

C'est ce que Siemens avait compris en captant le calorique des produits. Il retrouvait l'équivalent de la combustion partielle effectuée dans la cuve ; en la retrouvant toute, il eût porté à l'unité le rendement de son appareil, c'était un rêve irréalisable, mais quelles sont les limites à la régénération des calories ?

Ces calories étaient employées à régénérer l'air primaire : elles se trouvaient par conséquent réintégrées au gazogène, dont les gaz sortaient encore plus chauds.

Le gazogène Siemens avec régénérateur est donc un excellent gazéificateur, qui convient excellemment au chauffage des fours auxquels il doit être accolé, avec lesquels il doit faire corps ; il utilise très bien le calorique du combustible gazéifié et llpermet de développer des températures extrêmement élevées.

En revanche, il ne convient nullement aux cas dans lesquels les gaz sont refroidis avant emploi, notamment pour l'alimentation des moteurs.

Les considérations ci-dessus sont théoriques ; elles ne correspondent pas exactement à la réalité. J'ai supposé que le charbon était du carbone, soit du coke sec, dépourvu de gaz ; or, le coke n'est jamais entièrement sec et il renferme toujours des gaz occlus dans ses pores. Si l'on fait usage d'anthracite, il se dégage de l'hydrogène et des carbures ; cela se produit *a fortiori* avec des charbons plus ou moins riches en produits volatils.

Le gaz à l'air, dit aussi Gaz Siemens, mérite le nom de gaz pauvre à plus juste titre que les autres, car il est le moins riche de tous.

2. **Gazogènes de gaz à l'eau.** — Prenons une colonne remplie de charbon porté et maintenu au rouge, et y faisons passer un courant de vapeur d'eau. Il suffit d'une température de 500° pour que celle-ci se décompose ; à 1000°, elle se dissocierait.

Il se produit de l'oxyde de carbone, de l'anhydride carbonique et de l'hydrogène.

Les réactions paraissent être les suivantes :

$$2C + 3H^2O = CO + CO^2 + 3H^2 \quad (1)$$

L'oxydation du carbone dégage de la chaleur ; la décomposition de l'eau en absorbe. La somme des opérations est endothermique, ainsi qu'il est aisé de s'en rendre compte.

$$\left.\begin{array}{l} C + O = CO\ ; \quad + 97.650 \text{ calories} \\ C + O^2 = CO^2\ ; \quad + 29.450 \quad — \end{array}\right\} + 127.100$$
$$H^2O = 2H + O\ ; \ 3 \text{ fois } 58.100 \quad — 174.300 \quad (2)$$
$$— 47.200$$

Cette dépense de calories impose un apport étranger à l'opération : on peut maintenir le charbon au rouge, soit en y insufflant périodiquement un fort courant d'air, qui en brûlera une partie avec production de CO^2, soit en chauffant la colonne par un foyer extérieur. Il existe donc deux espèces de ces gazogènes, les premiers sont à marche intermittente, les seconds à fonctionnement continu.

Il importe, pour faire du gaz à l'eau dans de bonnes conditions : 1° qu'il y ait un large contact entre le carbone et la vapeur d'eau ; 2° que la vapeur ait le temps de se réduire à ce contact ; 3° que la température soit toujours élevée. Il convient donc de faire emploi d'un charbon poreux, concassé en menus fragments ; il faut de plus que le courant de vapeur ne soit pas trop rapide et que la source de chaleur chauffant la colonne soit intense. C'est en effet ce que démontre la pratique : le gaz est d'autant plus riche en CO que ces conditions sont mieux remplies.

Ces conditions semblent plus faciles à remplir pour les gazogènes à marche intermittente : ils donnent par suite générale-

---

(1) Cette réaction n'est pas la seule possible ; en effet, on peut écrire encore :

$$3C + 4H^2O = 2CO + CO^2 + 4H^2$$
$$3C + 5H^2O = CO + 2CO^2 + 5H^2$$
$$4C + 4H^2O = 4CO + 4H^2$$

La dernière pourrait être la plus avantageuse, par le fait de l'absence de CO^2 ; mais en réalité, il se produit toujours de ce gaz.

(2) La chaleur de formation de l'eau est de 58.100 calories, lorsque l'eau prend l'état de vapeur, ce qui est le cas auquel ce calcul se réfère.

ment de meilleur gaz. C'est une question de température, ainsi qu'il ressort d'observations faites par le professeur Bunte. Le tableau ci-dessous fait bien ressortir ce rôle de la température.

Température du gazogène	Composition du gaz en volume			Vapeur d'eau	
				dissociée	non dissociée
450°	Pas de décomposition de la vapeur d'eau.				
	H	CO	CO^2		
674°.....	65,2	4,9	28,9	8,8 p. 100	91,2 p. 100
861°	59,9	18,1	21,9	48,2 p. 100	51,8 p. 100
1125°.....	50,9	48,5	0,6	99,4 p. 100	0,6 p. 100

La teneur en CO est donc nettement fonction de la température.

Elle peut devenir gênante, dans certaines applications, par suite de la toxicité de ce gaz. Il est bon de savoir que M. Sabatier a découvert qu'en chauffant le gaz en présence de fer et de nickel, il se produit du méthane, par transformation catalytique de CO en présence de H : cette réaction pourrait être utilisée pour réduire la teneur en CO, quand les circonstances l'exigent.

Les gazogènes à gaz à l'eau sont d'excellents instruments de gazéification, dont le rendement est quelquefois élevé : aux mines de Warstein, on a produit, avec 240 kilogrammes de coke, 575 mètres cubes d'un gaz à 2.600 calories : le rendement a atteint 81 p. 100.

Jusqu'ici, nous avons supposé que l'on n'employait que du coke : les phénomènes présentent déjà une certaine complexité, qui s'accroît grandement lorsqu'on fait usage de charbons susceptibles de distiller et de mêler leurs produits volatifs au produit immédiat de la gazéification.

3. **Gazogènes de gaz mixte.** — Lorsque le gaz doit être conduit au loin et employé froid, il perd les 30 p. 100 de la chaleur du combustible dégagée pendant la formation de l'oxyde de carbone ; il était indiqué de chercher à récupérer cette fraction d'une manière ou de l'autre.

Une première manière consistait à utiliser la chaleur emportée par les gaz chauds, sous la forme sensible, en chauffant l'air introduit au gazéificateur ; mais alors la température de l'appareil devenait trop élevée, c'était un danger pour la conser-

vation des terres réfractaires formant le revêtement des cuves ; c'était de plus une réelle difficulté pour la conduite du feu. Ébelmen y avait obvié dès le début de ses travaux en introduisant de l'eau dans la cuve d'une façon quelconque, et Siemens avait recueilli cette tradition ; le plus souvent, cette pratique résultait directement du rafraîchissement des grilles. D'autres fois, l'air injecté était humidifié ; plus tard, on en vint à recourir à des pulvérisations d'eau, puis à des jets de vapeur saturée ou surchauffée ; l'opération endothermique constituée par la décomposition de l'eau, H^2O, en H^2 et en O, absorbait proportionnellement à son poids une partie du calorique. Le résultat était d'enrichir le gaz en y formant de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone : on fabriquait à la fois du gaz à l'air et du gaz à l'eau, c'est-à-dire du gaz *mixte*. Il était bien dénommé (1).

On en fit longtemps sans le savoir, tout comme M. Jourdain faisait de la prose. M. Emerson Dowson se donna la production du gaz mixte comme objectif immédiat, et il construisit son gazogène plus spécialement destiné à alimenter les moteurs à gaz. Le succès couronna son entreprise et il eut d'innombrables imitateurs, qui fabriquèrent du gaz mixte en employant des anthracites et des charbons anthraciteux, et injectèrent dans la cuve du gazofacteur un mélange d'air et de vapeur d'eau.

Nous allons reprendre en conséquence les théories exposées ci-dessus, en tenant compte d'une part de la vapeur accompagnant l'air, et d'autre part des produits volatils que donnent les charbons par distillation.

Voici la première série des réactions :

1) $C + O = CO$
2) $C + 2O = CO^2$
3) $C + CO^2 = 2CO$
4) $C + H^2O = CO + 2H$
5) $C + 2H^2O = CO^2 + 4H$

Répétons que les seules réactions 1 et 2 sont exothermiques,

---

(1) Letombe a remarqué fort judicieusement que tous les moyens employés pour abaisser la température de la colonne combustible amènent une récupération.

alors que les trois autres sont endothermiques ; le calorique rendu disponible dans 1 et 2 doit donc être supérieur à celui qu'exigent 3, 4 et 5 augmenté de ce qui se perd fatalement par rayonnement et conductibilité. C'est la première loi du fonctionnement des gazogènes : elle est absolue. Toutefois, au lieu de demander aux combustions incomplètes et complètes du charbon tout le calorique nécessaire aux opérations concomitantes et suivantes, on peut utiliser des chaleurs apportées du dehors. En tout cas, que la vapeur soit saturée ou même surchauffée, son introduction ne saurait être faite en quantité illimitée, car elle abaisserait outre mesure la température du foyer au point de rendre impossibles les réactions, voire même d'éteindre le feu. Enfin la réduction des pertes extérieures prend une importance qu'on ne soupçonne pas à première vue et qui a été souvent méconnue.

Les réactions se produisent à des températures déterminées par leur nature. La réaction 3 ne commence guère avant 450° ; la réaction 4 réclame au moins 800° ; la réaction 5 se fait depuis 800° jusqu'aux plus hautes températures. Lencauchez en a conclu que la réaction 4 précède la réaction 5.

En restant dans l'hypothèse que nous avons faite d'un chargement au coke, le calcul approximatif qu'on peut baser sur les données calorifiques du problème, conduit à estimer la température du gaz à la sortie du gazogène à 800° ; elle serait de 1200° si l'air était absolument sec. Ces chiffres permettent d'estimer la diminution de température obtenue par l'introduction de la vapeur d'eau saturée dans le vent.

Mais il nous faut considérer maintenant l'hypothèse d'une marche au charbon maigre ou à l'anthracite ; dans ce cas, le phénomène est compliqué d'une distillation des produits volatils carburés, donnant lieu à des réactions secondaires multiples, dans le détail desquels il nous faut entrer ; nous reconnaissons toutefois que les équations ci-dessous ne peuvent faire connaître que les résultats principaux :

6) $CH^4 + H^2O = CO + 6H$
7) $CH^4 + CO^2 = 2CO + 4H$
8) $C^2H^4 + 2H^2O = 2CO + 8H$
9) $C^2H^4 + 2CO^2 = 4CO + 4H$

L'altération des hydrocarbures engendre donc de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone, qui augmentent la richesse des produits de la gazéification ; il ne paraît dans nos équations ni H^2O ni CO^2. Mais ces transformations exigent encore des apports de calorique ; de plus, elles n'ont lieu qu'à des températures déterminées, de telle sorte qu'elles ne se produisent point nécessairement.

Mais, me dira-t-on, vos équations ne mentionnent ni méthane, CH^4, ni éthylène, C^2H^4 ; or, les gaz en renferment, donc les équations sont insuffisantes. Nous le savions, et ne nous en défendrons que mollement. Qu'on nous permette une seule remarque, en réponse à cette critique fondée : les éléments absents dans les équations, présents dans les gaz mixtes, peuvent provenir directement de la distillation des charbons. Les goudrons ont cette origine.

En somme, les gaz mixtes, dits gaz pauvres, renferment toujours, outre l'H et le CO, qui constituent leurs éléments combustibles essentiels, CH^4, C^2H^4, etc., un peu d'oxygène libre, l'azote résiduel de l'air injecté et l'anhydride carbonique qui a échappé à la réduction. Pour mémoire : du goudron et des produits ammoniacaux, dont les gaz doivent être débarrassés, si on veut les faire servir à l'alimentation des moteurs.

Nous reviendrons plus loin sur cette composition des gaz.

IV. — GAZOGÈNES SPÉCIFIÉS PAR LEUR FONCTIONNEMENT

1. **Gazogènes à aspiration.** — Au début, l'air était appelé à travers les appareils de gazéification par des cheminées, qui suffisaient généralement à leur tâche par aspiration. Quand Siemens installait des gazogènes près des foyers, il les plaçait en contrebas, afin d'obtenir la dépression nécessaire. Il faisait aussi usage de cheminées, partant de la cuve du gazofacteur, suivies d'une conduite horizontale de refroidissement et d'un tuyau vertical de descente, aboutissant au foyer. La différence de densité dans les deux parties verticales suffisait ordinairement pour produire le tirage. Mais on en vint

rapidement au soufflage d'air, qui présentait beaucoup plus de souplesse et d'énergie.

Dowson et Lencauchez recouraient aussi au soufflage pour leurs gazogènes, alimentant des moteurs ; quelquefois on employait des exhausteurs, entre moteur et cuve.

En 1862, le professeur Arbos faisait breveter une disposition dans laquelle le moteur puisait lui-même son gaz tonnant dans la cuve ; cet Espagnol est donc le créateur des gazogènes à aspiration pour moteurs. Mais son invention sommeilla de longues années, et l'idée ne fut reprise que plus tard par les frères Bénier, qui alimentèrent de la sorte leur moteur à deux temps.

On s'avisa bientôt après de procéder de même pour les moteurs à quatre temps ; le succès fut complet, et toutes les installations furent faites dès lors sur ce type qui a entièrement prévalu.

Au point de vue exclusif de la gazéification, il importe peu que l'air soit appelé ou refoulé dans la cuve ; pratiquement, l'avantage est sensible, puisqu'on se débarrasse de la sujétion et de l'encombrement du ventilateur et qu'il n'est plus besoin d'installer une cloche à gaz sur la canalisation.

Il suffit d'adjoindre au gazogène un petit ventilateur à main dont on se sert pour les mises en train.

Letombe avait imaginé un appareil qu'il appelait « à aspiration compensée », dans lequel il faisait mouvoir par le moteur, une fois en marche, le petit ventilateur auxiliaire de départ ; un régulateur à cloche équilibrée, placé sur une dérivation, faisait intervenir le ventilateur quand il était nécessaire de surmonter des pertes de charge plus grandes, provenant du gazogène lui-même ou de ses accessoires d'épuration. J'ignore si l'habile et fécond inventeur a réalisé l'idée qu'il avait conçue : Lencauchez et lui se sont signalés à l'envi par de nombreuses et intéressantes créations, qui n'ont pas toujours eu le temps d'être mises au point et sont quelquefois restées à l'état d'ingénieux projets. Il y a du reste beaucoup de brevets de gazogènes, qui ont plus enrichi les agences que leurs auteurs.

On en pourrait dire autant des moteurs à gaz, qui ont compté plus d'appelés que d'élus, du moins en France ; nous inventions trop et ne réalisions point assez. Les Allemands étaient mieux

avisés que nous ; ils avaient entendu le judicieux conseil de Güldner, le grand spécialiste d'Aschaffenbourg : « *Weniger erfinden, mehr construiren* ».

2. **Gazogènes à insufflation.** — Dowson a employé un injecteur qui mélange la vapeur à l'air, en même temps qu'il entraîne celui-ci ; cet appareil remplit donc une double fonction ; on peut craindre qu'il n'en remplisse une au détriment de l'autre. L'ingénieur anglais accolait au gazogène une petite chaudière qui en était indépendante ; on y brûlait les fines, laissées par le criblage de l'anthracite employé pour la gazéification et qu'on n'aurait pu charger dans la cuve. La chaudière n'en était pas moins une complication d'installation, et elle imposait une conduite et une surveillance surnuméraire au chauffeur (1).

L'injecteur à double office crée une difficulté d'ordre spécial, parce qu'il lie l'humidification de l'air et son refoulement ; or, on peut avoir intérêt à ce que la quantité d'air varie et non pas celle de la vapeur ; de plus, aux mises en route et à la suite d'une période d'arrêt, il faut de l'air moins humide et en plus grande quantité : conditions difficilement conciliables.

Lencauchez estimait par suite avec raison qu'il faciliterait beaucoup, si même il ne le perfectionnait pas, le fonctionnement de son gazogène en l'alimentant d'air par un ventilateur ; il donna la préférence au ventilateur Root (2) ; celui-ci permet d'atteindre des pressions assez élevées. Avant d'être introduit au gazogène, l'air peut être réchauffé et il en résulte une surchauffe utile pour la vapeur dont il a pu être chargé. Mais le ventilateur demandait à être actionné par un moteur indépendant à moins qu'il n'y eût à proximité une transmission de mouvement.

Gardie a insufflé de l'air sous une pression relativement con-

---

(1) L'injecteur employé par Dowson était du type Kœrting bien connu : un ajutage débite la vapeur sous pression dans l'axe d'une tuyère cylindro-conique.

(2) Le ventilateur Root est formé de deux espèces de roues dentées, à deux dents seulement, s'engageant l'une dans l'autre et tournant en sens inverse, comme si elles engrenaient l'une avec l'autre.

sidérable de 6 à 7 kilogrammes par centimètre carré, et il a réussi de la sorte à réduire énormément la production des goudrons en se servant même de charbons gras ; de fait, il a pu supprimer tous les appareils de lavage et d'épuration. La théorie du fonctionnement s'établit assez aisément. En effet l'air pénètre au centre de la cuve sous haute pression ; il y développe une combustion très vive, caractérisée par une température élevée. La zone de combustion se réduit et les réactions s'accélèrent; les goudrons et hydrocarbures subissent une transformation pyrogénée, la vapeur d'eau se décompose et se dissocie. Il sort du gazogène un mélange d'oxyde de carbone, d'hydrogène et d'un peu de méthane ; le reste est de l'azote, accompagné d'une faible proportion d'anhydride carbonique.

Le gazogène Gardie pouvait procurer de beaux rendements, associé au moteur à combustion pour lequel il avait été créé ; on n'a malheureusement point su tirer parti de cette invention, qui avait pour elle des gages d'avenir. Si Gardie avait trouvé, comme Diesel, le concours des ateliers d'Augsbourg et de Nuremberg, son œuvre eût été mise sur pied, et nous posséderions aujourd'hui une machine pouvant utiliser les charbons bitumineux dans des conditions excellentes.

Les gazogènes à haute pression seraient du reste de nature à fournir aussi de beaux états de service pour les chauffages ; ils présentent un faible encombrement et les canalisations du gaz sont de diamètre réduit, donc assez faciles à isoler ; on imaginerait sans difficultés des brûleurs s'accommodant des pressions élevées.

Le plus puissant argument à produire en faveur des gazogènes soufflés est l'exemple du haut-fourneau, qui appartient à cette famille et nous montre ce qu'on peut en attendre. Il fonctionne avec un combustible déjà chargé de cendres, le coke, auquel on ajoute encore des roches minérales, et qui malgré cela donne encore du gaz utilisable ; en somme, on marche avec du charbon duquel on peut dire qu'il renferme 70 p. 100 de cendres. Est-il un autre gazogène aussi accommodant que celui-là ? Il doit ses qualités au soufflage sous pression. On ne saurait assez méditer les leçons que nous donnent les hauts-fourneaux.

La pression du vent qu'on leur sert dépend de leur hauteur, de la nature du minerai et du combustible, et de la plus ou moins grande compacité des charges ; elle varie entre 100 grammes et 1 kilogramme par centimètre carré, mais se tient habituellement aux environs de 800 grammes. Le volume d'air à fournir par minute atteint pour certains fourneaux modernes 800 à 1.000 mètres cubes ; les soufflantes doivent donc être construites pour ce débit ; il faut de plus qu'elles puissent développer une pression de 2 kilogrammes en cas d'obstruction dans le fourneau. Le vent est chauffé dans des appareils Whitwell ou Cowper, à une température qui peut s'élever à 850°. Il est toujours humide. C'est peut-être à cette humidité qu'est dû le fait, très anciennement constaté, que l'allure des fourneaux est meilleure en hiver qu'en été.

Mais la vapeur d'eau n'est pas toujours utile et il est des cas où il importe au contraire d'en réduire la quantité. C'est d'Amérique que nous est venue la pratique de dessécher l'air ; le procédé Miles, adopté par la Northern Iron Company à Standish (Etat de New-York), consiste à refroidir l'air à sa sortie des soufflantes et à le faire passer sur du chlorure de calcium, de façon à réduire sa teneur en eau à 23 grammes par mètre cube ; de plus, un régulateur automatique maintient la température de l'eau dans un rapport défini avec sa pression, ce qui assure la constance de l'état hygrométrique. Mais nous n'insisterons pas sur ce point, qui est plutôt de l'ordre des théories métallurgiques ; on peut croire que l'amélioration de rendement produite par l'emploi de l'air sec est due principalement à ce que la température de l'ouvrage reste plus élevée (1).

Une innovation, récemment introduite en métallurgie, doit être signalée ici ; elle n'est pas étrangère à notre sujet. Je veux parler des hauts-fourneaux électriques.

M. Nicou a publié les résultats qu'il lui a été donné de cons-

---

(1) Voir sur ce sujet une note sur l'emploi de l'air dans les hauts-fourneaux, publiée par M. Gouvy, dans les *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, en 1905 ; l'auteur y rapporte les essais de M. Gailey, qui a refroidi l'air à — 5° à l'aide de machines à glace ; en été, la teneur en eau de 20 grammes par mètre cube d'air se trouvait réduite à 4 grammes.

tater aux Etablissements de Trolhattan en Suède. Les calories fournies par tonne de fonte s'élèvent au nombre de 908.870 par le charbon, et 1.246.431 par l'énergie électrique, soit au total 2.155.202, alors qu'un fourneau au coke en consomme 3.927.120. Le gaz de fourneau électrique est notablement plus riche que celui du fourneau au coke ; ce dernier produit plus de gaz en volume ; par contre, il en consomme une grande partie pour le chauffage du vent. M. Nicou estime que la production de la fonte au moyen de la calorie électrique a devant elle de larges horizons.

V. — GAZOGÈNES SPÉCIFIÉS PAR LEUR COMBUSTIBLE

Si le charbon de bois n'était rare et cher, il serait le combustible par excellence de la gazéification. Dépourvu entièrement de matières volatiles, renfermant peu de cendres, d'une parfaite tenue au feu, ne se délitant pas et ne donnant pas de poussières, il reste perméable aux courants de gaz qui le traversent aux températures les plus hautes, et fournit un gaz relativement riche et constant composé d'H, CO, CO^2 et Az. Mais on ne pourrait alimenter les gazogènes par du charbon de bois d'une façon générale.

Au premier rang après lui, vient l'anthracite anglais, du pays de Galles (Llanelly), dur, peu friable, gardant sa forme en brûlant, produisant peu de cendres, ne dégageant guère de produits volatils gênants. Mais ces avantages se payaient déjà cher avant la guerre ; depuis lors, son prix est devenu inabordable.

On peut y substituer le coke de houille, auquel on ne reproche que de renfermer souvent beaucoup de cendres, mais qui a, comme les précédents combustibles, la propriété très recherchée de ne pas se rompre au feu, de ne pas gonfler, de ne pas coller, partant de ne point faire voûte dans la cuve, et de descendre de lui-même vers les points inférieurs du gazogène. Quand on sait conduire son feu et le maintenir à l'allure nécessaire, les résultats sont bons.

Pour tous ces combustibles, une forme évasée, vers le bas, comme c'est réalisé dans le haut fourneau, est celle qu'il faut

adopter et il n'y a guère d'autre précaution à prendre que de régler l'afflux d'air et de vapeur d'eau, dans les proportions que demande la nature du charbon.

On en vint bientôt à se servir de charbons anthraciteux, plus ou moins maigres, auxquels faisaient plus au moins défaut les qualités mentionnées ci-dessus ; il fallut dès lors lutter contre des difficultés qui croissaient chaque jour, avec les prétentions et l'audace des constructeurs de gazogènes. Rien n'arrêta plus ceux-ci dans leurs revendications et ils cherchèrent à utiliser des charbons fins et menus, du tout-venant non criblé ni trié, de la houille riche en produits volatils bitumineux et azotés, donnant des mâchefers collants, plus ou moins chargés de cendres. Pour le coup, le problème se compliquait d'une terrible façon, surtout lorsque les gazogènes furent appliqués plus spécialement à l'alimentation des moteurs : il fallut redoubler d'ingéniosité pour donner satisfaction aux industriels, qui avaient fait confiance aux ardents promoteurs des machines aux gaz pauvres. On ne réussit pas toujours : c'était inévitable et n'aurait pas eu de graves conséquences, si l'on n'avait quelquefois promis des choses qu'on ne pouvait tenir.

Pour mettre de l'ordre dans notre classification, nous nous occuperons d'abord des appareils destinés à traiter des houilles plus ou moins riches en produits volatils ; nous passerons ensuite à ceux qui emploient des produits franchement bitumineux et nous terminerons notre étude par les gazogènes à combustibles chargés de cendres.

1. **Gazogènes à charbons anthraciteux.** — Le traitement de ces charbons est l'enfance de l'art : les gaz produits n'ont besoin que d'être dépoussiérés, lavés et épurés dans des appareils assez sommaires pour pouvoir être conduits à distance et admis dans des moteurs à gaz. Généralement, on peut dire que cela va tout seul.

Ce n'est pas à dire que, même avec ces combustibles de choix, on n'ait point connu d'ennuis. Lencauchez, auquel il faut toujours en revenir en ces questions, a rapporté que des anthracites, contenant une quantité infime de produits volatils, collent quelquefois les soupapes des moteurs au point de provoquer des rup-

tures de tiges. Une teneur d'un dix-millième de goudrons dans le gaz a suffi en certaines installations pour encombrer des conduites. En d'autres cas, pour empêcher certains charbons maigres de s'agglomérer et d'obstruer le passage du gaz à travers les couches de combustible, ou de « former cheminée » — c'est-à-dire d'ouvrir un large chemin à l'air en un point — il a fallu opérer de laborieux piquages au ringard. De multiples et ingénieuses dispositions, que nous ferons connaître plus loin, ont permis d'obvier à ces inconvénients, quelquefois très heureusement et généralement d'une manière suffisante.

2. **Gazogènes à charbons bitumineux en allure froide.** — Pour empêcher les goudrons de devenir gênants, il y a deux méthodes de travail ; on peut les entraîner hors de la cuve et les condenser en des points déterminés, ou bien les empêcher de se produire. C'est une question d'allure froide ou chaude du foyer.

MM. Mond, Brunner and C°, de Northwich, ont eu recours au premier procédé pour traiter des charbons bitumineux d'Ecosse ne renfermant même pas 68 p. 100 de carbone fixe, donc très riches en matières volatiles et en azote. Pour maintenir l'allure froide et empêcher la température de la cuve de dépasser 450°, on y fait passer cinq fois plus de vapeur que le charbon ne peut en décomposer : la température est dès lors trop faible pour que les réactions endothermiques puissent se produire ; la vapeur d'eau qui traverse le foyer emporte avec elles les produits de distillation non décomposés. Ce flux de vapeur se condense dans un récupérateur et les gaz, chargés de produits ammoniacaux, sont arrêtés dans des appareils spécialement disposés à cet effet. Le gaz épuré va à des moteurs.

3. **Gazogènes à charbons gras en allure chaude.** — Les appareils de ce type ont pour effet de réduire les vapeurs de goudron en gaz fixes par une transformation pyrogénée.

Pour réaliser le but cherché, on imagina de faire traverser aux matières volatiles une couche épaisse de charbon porté et maintenu au rouge. C'est encore à Lencauchez que revient l'honneur de la première application de ce procédé ; Thwaite y est revenu en inventant les gazogènes jumeaux.

Dans ce dispositif, les gaz qui se dégagent d'une première cuve à combustion passent à travers une colonne de coke incandescent, mais cette incandescence ne durerait pas, si l'on ne ménageait pas, au bas de cette colonne, de petites entrées d'air. Cet air ne saurait être fourni en excès, car il se produirait une forte proportion d'anhydride carbonique, que la colonne de coke serait impuissante à réduire : d'autre part, il s'y développerait une température trop élevée, qui détruirait rapidement la garniture réfractaire.

Que se passe-t-il exactement dans cette colonne ? Je ne crois pas qu'aucun chimiste l'ait encore dit. Ce que l'on sait, c'est que les hydrocarbures se décomposent en hydrogène et oxyde de carbone ; il est démontré d'autre part que l'existence d'une atmosphère oxydante et d'une température élevée sont également indispensables. Le mot de zone de réduction, qui a été souvent employé pour caractériser ce procédé, est par suite très incorrectement employé, et j'ai cru préférable de dire *zone à réaction* ; on peut croire que les hydrocarbures commencent par se dédoubler, en tendant à devenir de plus en plus hydrogénés, ainsi que le montrent les équations ci-dessous :

$$C^2H^2 = C^2 + H^2$$
$$C^2H^4 = C^2H^2 + H^2$$
$$2CH^4 = C^2H^2 + 6H$$

En présence de l'oxygène de l'air, il se produit CO, CO^2 et H^2O, et une série de décompositions subséquentes, en présence du carbone.

L'emploi des doubles cuves a donné, en bien des cas, des résultats très satisfaisants.

Mais on a voulu éviter la deuxième cuve qui ne laisse pas que de présenter des difficultés de service, et l'on a préconisé ce que l'on a appelé la *combustion renversée*, mais que je crois plus correct de qualifier de *tirage renversé* ou de *flamme renversée*.

Voici en quoi cela consiste : au lieu de diriger les gaz carburés à travers une colonne spéciale, on les ramène dans la cuve du gazogène proprement dit par un courant d'air et de vapeur d'eau, dirigé de la partie supérieure à sa base ; on opère donc

per descensum. Les couches supérieures du combustible sont, nous le supposons, à une température assez élevée pour commencer à distiller : ce sont les couches *a* de la figure 2. L'air les traverse normalement, mais il en entre aussi par B. Une combustion amène la couche *b* à l'état de coke ; la couche *c*, beaucoup plus épaisse, est au rouge. C'est à sa traversée que les

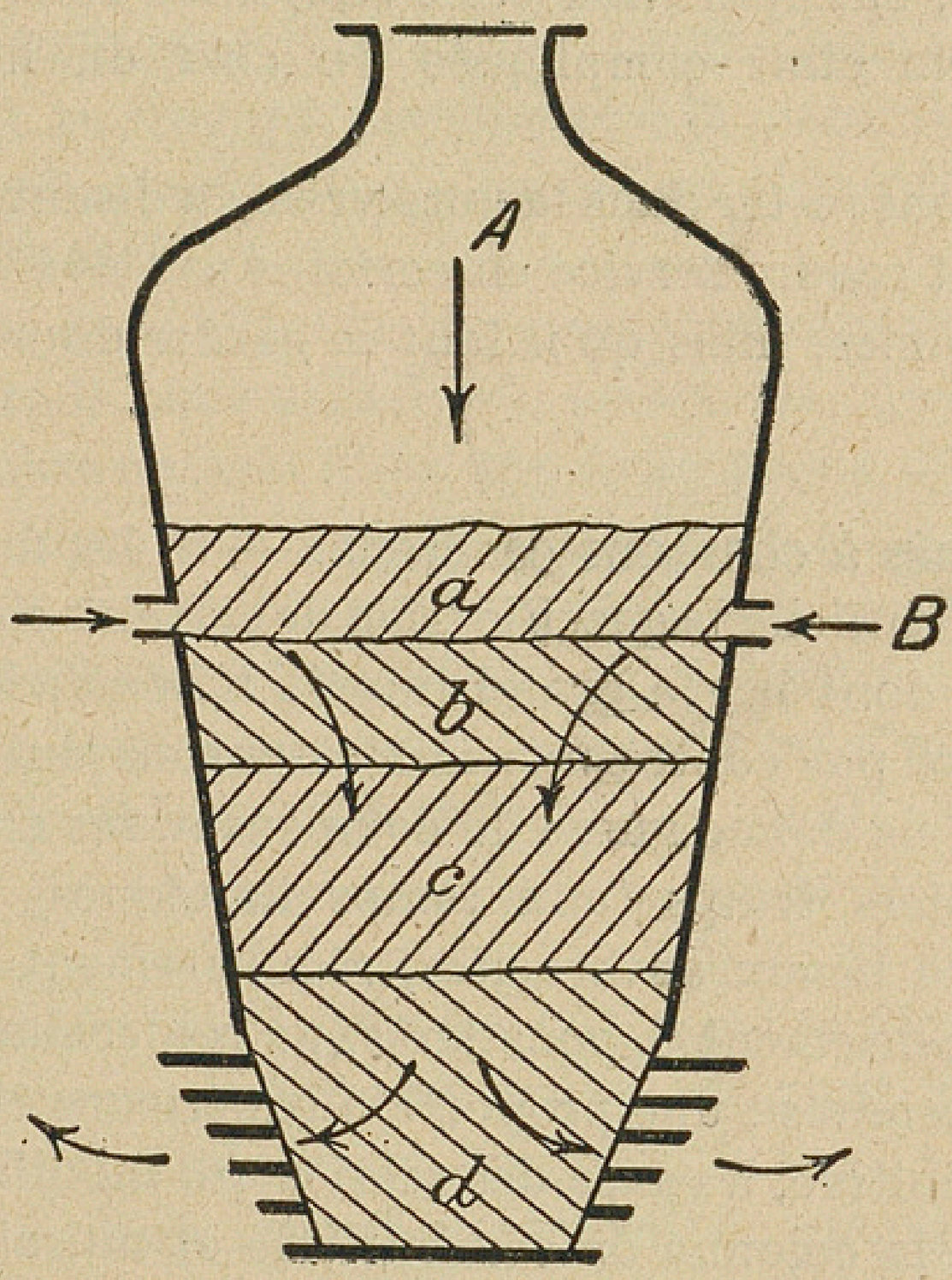


Fig. 2. — Schéma du tirage renversé.

réactions pyrogénées ont lieu. Mais la température baisse à partir de ce point, et la couche *d* chargée de scories et de cendres laisse échapper par le bas les gaz purifiés et relativement refroidis.

Il importe que la couche *c* soit très chaude ; c'est pourquoi l'on recommande de pratiquer l'ouverture B assez bas et d'y faire passer de l'air surchauffé.

Les appareils à tirage renversé ont été l'objet de vives discussions aux Ingénieurs civils et ailleurs ; vantés outre mesure par les uns, qui croyaient les avoir inventés, ils ont subi des critiques exagérées de la part de quelques praticiens, qui accu-

saient le système de produire des escarbilles mal brûlées, qu'il fallait évacuer avec les cendres et les scories. Lencauchez avait observé que, dans certaines installations (peut-être mal faites ou mal conduites), on était exposé à perdre ainsi près de la moitié du carbone fixe du combustible. On s'est plaint aussi de ce que les gaz entraînaient avec eux beaucoup de poussières, de sorte que, si l'épuration était simplifiée relativement aux goudrons, elle était compliquée du chef du lavage et du nettoyage.

Nous croyons rester dans la note vraie en disant que le tirage renversé peut rendre service en certains cas, avec des combustibles déterminés, mais qu'il faut se garder d'un engouement exagéré.

4. **Gazogènes à charbons cendreux.** — Si les matières volatiles rendent difficile la gazéification de certains charbons, c'est une richesse dont il y a grand intérêt à bénéficier ; la teneur en cendres est par contre une misère parfois aussi embarrassante, et qui ne donne guère de compensations en retour.

Aux premiers temps (aux temps héroïques) du Dowson, on traitait de beaux anthracites, régulièrement concassés et criblés, soigneusement dépoussiérés, ne renfermant que de 3 à 5 p. 100 de cendres ; une proportion supérieure était regardée comme prohibitive, à cause des scories qui modifiaient la perméabilité de la colonne de combustible et nuisaient au soufflage. La qualité des anthracites pour gazogènes était spécifiée rigoureusement et il ne venait à l'idée de personne, en Angleterre du moins, qu'il fut permis d'y déroger.

En France, où l'on utilisait des anthraciteux, ces conditions extraordinaires étaient rarement remplies : aussi le fonctionnement des gazogènes devint-il assez ingrat ; avec 10 p. 100 de cendres, il fallait vider les cuves toutes les six heures, ce qui n'était tolérable que dans les petits établissements industriels. Au delà de 10 p. 100 il fallait renoncer à gazéifier.

Quelques-uns adoptèrent la pratique d'une vidange totale de la cuve : ils groupaient les gazogènes par quatre, dont l'un se trouvait vide, un autre en rallumage, les deux autres en service. La solution était bonne, mais coûteuse, par les

frais de main-d'œuvre, les pertes de charbon et de chaleur, et la dépense de premier établissement.

On en vint alors aux dispositifs mécaniques, grilles oscillantes, tournantes ou autres assurant un décrassage continu : avec un combustible donnant des scories friables, pas trop abondantes, cela marchait ; avec des scories pâteuses, produisant des accrochages dans la cuve, le succès était moindre et l'on se voyait obligé d'aider l'effet automatique par un travail au crochet et au ringard, manœuvré à la main. Reconnaissons néanmoins qu'un certain nombre de ces dispositifs ont fourni de bons résultats.

Dans le but de faciliter le décrassage, on supprima les grilles, et l'on adopta la cuve sans fond ; les scories s'éboulaient alors suivant le talus naturel dans une fosse pleine d'eau, formant joint hydraulique à la base. Cela se prête à un service assez facile, lorsque les scories veulent bien obéir à la pesanteur et descendre par leur poids ; sinon, le procédé manque absolument son but. Il se forme un excès de vapeur d'eau, qui s'élève de la fosse, trouble les réactions et fait monter le feu dans la cuve, ce qui est le signe d'un très mauvais fonctionnement.

Le soufflage central, par tuyère axiale, de quelque forme qu'elle fût, ne corrigeait qu'imparfaitement ce vice du système.

Letombe essaya de faire mieux en retenant les scories par des barreaux amovibles et en disposant le bas du foyer de manière à faciliter le plus possible le travail du ringard. Des essais que j'ai effectués sur ce genre d'appareils, en 1907, m'ont démontré qu'on peut traiter des combustibles de faible valeur renfermant 22,3 p. 100 de cendres, en obtenant un bon rendement, mais il faut alors travailler avec au moins trois gazogènes.

VI. — GAZOGÈNES SPÉCIAUX

Quelque large que soit la base de mes classifications, je n'ai pas encore trouvé le moyen d'y faire entrer tous les genres d'appareils qui ont été inventés.

Les gazogènes à charbon pulvérisé ont apporté une solution nouvelle au problème de la gazéification. En insufflant dans

une chambre un mélange d'air et de poussier de charbon, dans la proportion de carburant strictement calculée pour ne faire que du CO (soit 4500 litres d'air par kilogramme en moyenne), on réussit à transformer plus de 1000 kilogrammes par mètre carré de section, ce qui est énorme. Tous les goudrons sont dissociés ; on ne trouve même pas de soufre dans les gaz : il reste à l'état de sulfure dans le laitier.

Mentionnons aussi les gazogènes destinés spécialement au traitement des tourbes, qui forment une classe à part dont nous aurons à nous occuper.

CHAPITRE IV

LES GAZ DE GAZOGÈNES

L'étude qui vient d'être faite des divers types de gazogènes, a spécifié avec assez de netteté les gaz qu'ils engendrent, et nous pouvons passer sans autre commentaire à l'examen de leurs qualités respectives et de l'emploi qu'il convient d'en faire (1).

I. — LE GAZ DE VILLE DIT D'ÉCLAIRAGE

Le gaz de ville n'a d'abord été fabriqué que pour l'éclairage ; toutefois on l'appliqua rapidement au chauffage domestique et l'on en fit usage en certains fours dans lesquels il permettait de développer une température très élevée. L'emploi en moteur avait été prévu par Philippe Lebon, mais il ne se généralisa guère avant 1860. Le gaz de ville présentait de grands avantages pour le développement de la puissance motrice, par suite de la purification très soignée qu'il subit dans les usines et de la constance de sa composition, imposée par l'obligation de posséder un pouvoir éclairant déterminé : le cahier des charges de la ville de Paris, adopté dans la plupart

(1) Je fais de larges emprunts, dans ce qui va suivre, à la 4e édition de mon *Traité des Moteurs à gaz*, auquel j'ai donné, en 1910, un supplément sous le titre de *Dernière évolution des Moteurs à gaz* ; une 5e édition de cet ouvrage est en préparation.

des contrats de monopole, exige que la carcel soit obtenue par la dépense de 105 litres par heure dans un bec Bengel. Or, il y a proportionnalité assez rigoureuse entre le pouvoir éclairant du gaz de ville et son pouvoir calorifique.

Définissons exactement ce qu'on appelle le pouvoir calorifique d'un gaz : c'est le nombre de calories dégagées par la combustion complète, dans un volume d'air nécessaire et suffisant, de 1 mètre cube, pris à 0 degré, sous la pression normale de 760 millimètres de mercure. Si la vapeur d'eau produite est condensée, on a le *pouvoir supérieur* ; le *pouvoir inférieur* correspond à la non condensation. La différence entre les deux pouvoirs est égale à la quantité de chaleur fournie par la condensation de la vapeur d'eau et le refroidissement de cette eau liquide de 100° à 0°.

On distingue aussi entre les pouvoirs sous pression constante, ou sous volume constant, suivant le mode de la combustion.

On rapporte quelquefois les pouvoirs non à l'unité de volume, le mètre cube, mais à l'unité de poids, le kilogramme ; dans ce dernier cas, on l'indique expressément.

La composition du gaz de ville est aussi variable que complexe.

Un certain nombre d'analyses du gaz de la Compagnie Parisienne à conduit M. Hudelo à lui attribuer la composition moyenne qui suit :

	Teneurs en volume		Teneurs en poids	
H	50,1	95,3	8,8	86,2
CO	6,3		15,6	
CH^4	33,1		47,3	
C^2H^4	5,8		14,5	
CO^2	1,5	4,7	5,7	13,8
O	0,5		1,4	
Az	2,7		6,7	
	100,0		100,0	

Les gaz des villes de province sont quelquefois moins riches.

En Angleterre, la teneur en carbone est généralement plus grande.

Mes études me portent à assigner la composition suivante à un bon gaz moyen de nos usines de France.

	Poids spécifique	Teneur en volume	Teneur en poids
H.....	0,0896	1.116,0 lit.	100 gr.
CO.....	1,254	119,6 —	150 —
CH^4	0,716	611,1 —	440 —
C^2H^4, etc	1,254	88,0 —	110 —
Carbures divers ..	2,5 (?)	30,4 —	76 —
CO^2	1,970		4 —
O	1,427		
Az	1,256	95,2 —	120 —
		2,060,3 —	1,000 —

Le poids du mètre cube serait par suite de 488 grammes, ce qui correspond à une densité égale à 0,37 et à un poids spécifique de 0,48.

Le pouvoir calorifique supérieur de ce gaz serait donc de 5515 en volume et 11.373 en poids : ces chiffres sont relatifs à une combustion sous pression constante.

Le volume d'air strictement exigé pour la combustion d'un kilogramme de ce gaz est donc de 10.881 litres, soit égal à 5,3 fois le volume du gaz employé.

Il y a contraction dans la combustion : elle n'est pas éloignée de 43 p. 100.

J'ai démontré qu'il y a fréquemment combustion incomplète ; un brassage énergique du combustible dans le comburant est donc nécessaire, la diffusion de l'un dans l'autre n'étant souvent point suffisante.

On admet généralement que 100 kilogrammes de bonne houille donnent 30 mètres cubes de gaz.

II. — LES GAZ DE DISTILLATION

Lencauchez donne la composition ci-dessous d'un gaz de distillation du bois.

	Pour 100 kgr. de bois sec	Composition du gaz en poids
	—	—
H	9,3	28
CO	95,0	285
$CH^4 + C^2H^4$	41,6	125
Huiles empyreumatiques	10,8	30
CO^2	169,3	508
O	2,0	
Az	6,0	24
	334,0	1000

Pouvoir inférieur au mètre cube : 3.283 calories.

Les chiffres varient avec les essences et les procédés de distillation ; ils ne sont donnés ici que comme indication générale d'espèce.

La tourbe fournit le gaz que voici :

	Composition du gaz en volume
	—
H	400 litres
CO	300 —
CH^4	70 —
C^2H^4	25 —
Vapeurs d'hydrocarbure	15 —
CO^2	140 —
O + Az	50 —
	1.000 —

Pouvoir inférieur au mètre cube : 3.166 calories.

Le gaz de lignite renferme 31 p. 100 d'H, 26 p. 100 de CO, 19 de CH^4, 4 de C^2H^4, 15 de CO^2.

Pouvoir inférieur au mètre cube : 3.924 calories.

Le gaz Pintsch, obtenu avec le pétrole brut de Pensylvanie, est un gaz plus riche que le gaz de ville, dont la composition varie non seulement avec celle du pétrole mis en œuvre, mais encore avec la manière dont la distillation est conduite. Une tonne d'huile peut donner jusqu'à 600 mètres cubes de gaz.

III. — LE GAZ DE FOUR A COKE

Dans les usines à gaz, on distille de la houille pour fabriquer un gaz aussi éclairant que possible, pouvant servir de plus au chauffage et à la production de la puissance motrice ; le coke et les goudrons sont un sous-produit du travail.

En métallurgie, il faut un coke dense et plus ou moins pur ; c'est l'objet du traitement ; accessoirement, il sort des fours des gaz, des hydrocarbures condensables et des produits ammoniacaux, que l'on s'efforce de recueillir et dont on cherche à réaliser la valeur dans les meilleures conditions.

Les charbons soumis à la distillation, dans les cornues pour gaz et dans les fours pour coke, ne sont évidemment pas de même nature ; mais ce qui diffère le plus d'une application à l'autre, c'est le processus opératoire (1).

La durée de l'opération joue un rôle prépondérant dans l'espèce, ainsi qu'il ressort du tableau ci-dessous, donnant les résultats de distillation d'un charbon anglais.

Temps	Production pour cent du total	Pouvoir éclairant en bougies Hefner	Pouvoir calorifique au mètre cube	Densité du gaz épuré
30 minutes	—	25,5	—	0,52
45 minutes	—	24,5	7.072	0,49
1 heure	11,5	24,0	6.815	0,48
2 heures.....	10,3	18,9	6.020	0,45
3 heures	10,0	18,4	5.669	0,43
4 heures.....	9,1	16,7	5.562	0,42
6 heures.....	8,7	14,6	5.229	0,40
10 heures.....	7,9	9,0	4.228	0,35
12 heures.....	2,9	2	3.370	0,27

Or, la distillation au four à coke se prolonge durant trente-six heures quelquefois ; les fractions qui passent après

(1) Le charbon à coke de la classification de Gruner est du charbon à 20 p. 100 de matières volatiles ; c'est celui qu'on employa au début de l'industrie de la carbonisation pour coke de métallurgie ; mais on en est venu rapidement à traiter des charbons de 30 à 34 p. 100 ; ceux-ci fournissent de grandes quantités de gaz, dont la moitié à peine est nécessaire pour le chauffage même des fours.

les douze premières heures sont de moins en moins riches et de densité rapidement décroissante.

On peut suivre cette variation sur le relevé ci-dessous de la composition du gaz fourni par une batterie de fours Otto-Ilgenstock, chargés avec de la houille à coke anglaise.

GAZ	TEMPS				
	1re heure	6e heure	16e heure	26e heure	Dernière heure
H	39,2 %	44,8	54,5	59,2	76,8
CO	5,4	4,9	4,4	9,2	5,4
CH^4	41,1	36,1	29,8	4,0	4,5
Hydrocarbures non saturés..	5,6	5,0	1,4	0	0,8
CO^2	1,4	2,2	1,0	1,4	0,8
O.....	0,8	0,8	0,2	0,4	0
Az	6,5	6,2	8,7	25,8	12,5

Je reproduis ces chiffres, que j'emprunte à une étude très documentée de M. Cuvelette, le successeur de M. Reumaux à la direction des mines de Lens, pour faire voir combien il est difficile d'indiquer une composition spécifique des gaz de fours à coke. M. Cuvelette donne les valeurs suivantes comme moyenne d'un travail complet dans quelques fours allemands et dans un four du Pas-de-Calais.

PROVENANCE	COMPOSITION EN VOLUMES					
	H	CO	CH^4	C^mH^n	CO^2	Az + O
Eschweiler	56,7	5,5	22,4	1,3	2,0	12,5
Consolidation.....	48,9	7,2	35,8	3,2	0,7	3,7
Rhein preussen	45,6	5,5	24,4	0,7	2,9	20,7
Hibernia	48,0	5,5	22,0	2,0	2,0	29,6
Lens	58,0	6,0	20,0	1,5	3,0	11,5

Mais ces chiffres ne sont pas encore l'expression de la généra-

lité des cas de la pratique : ci-dessous des moyennes proposées par quelques auteurs.

Composition en volume.

H.....	51,5	42	42
CO.....	5,0	7	8
CH^4	28,4	26	22
C^mH^n	3,8	2	3
CO^2	1,8	3	4
Az + O.....	9,5	20	21
	100	100	100

On ne s'étonnera pas de ces divergences d'appréciation.

M. Ledebur estime le poids du mètre cube de gaz du four à 648 grammes à 0° et 760 millimètres ; le pouvoir inférieur serait de 3.800 calories. Mais le gaz est souvent moins dense que cet auteur ne le pense ; d'autre part, on a signalé aussi un pouvoir plus élevé que 4.000, et Letombe accepte comme limites 3.500 à 4.500 en supérieur. Cet ingénieur fait remarquer qu'en moteurs à gaz, il est prudent de faire un mélange très dilué.

Une épuration spéciale s'impose pour l'emploi direct en moteur ; on la dirige habituellement en vue de la récupération des goudrons, des eaux ammoniacales et des benzols ; on a renoncé jusqu'ici à capter les cyanures. Le soufre doit être arrêté avec soin ; on ne s'obligera pas à obtenir un gaz qui ne tache plus le papier d'acétate de plomb, ce qui correspond à 1 décigramme par mètre cube, mais il ne faudrait guère dépasser 3 décigrammes. L'épuration des gaz de fours à coke présente du reste de sérieuses difficultés et elle nécessite l'emploi d'appareils nombreux et coûteux, refroidisseurs à courant d'air et d'eau, exhausteur ou pompe, laveurs à colonnes et à claies, épurateurs à sec avec couches de laine de bois, etc. ; on y adjoint d'ordinaire une cloche de gazomètre formant accumulateur.

Ces installations ont pris d'énormes développements, surtout en Allemagne, où il n'est pas rare de voir des moteurs de plusieurs milliers de chevaux actionnés par les excédents de gaz des cokeries métallurgiques.

IV. — LE GAZ A L'AIR (GAZ SIEMENS)

Un anthracite d'Angleterre, ayant bonne-tenue au feu, d'un pouvoir inférieur de 7.500 calories, engendre par gazéification le gaz suivant :

	Composition du gaz en volume
H	2,5
CO	22,0
CH^4	2,0
Vapeurs de goudrons	0,5
CO^2	4,0
O	0,5
Az	68,5
	100,0

Un kilogramme fournit environ 5 mètres cubes de ce gaz, dont le pouvoir inférieur au mètre cube est de 1.000 calories.

Poids du mètre cube à 0° et 760 millimètres = 1 kgr. 266.

Les anthraciteux de Charleroi et du nord de la France produisent un gaz analogue, mais un peu plus riche en H et en carbures d'hydrogène : il est rare que ces charbons ne renferment que 5 p. 100 de cendres.

Le coke à gaz fournit moins de gaz, un peu plus dense, possédant à peu près le même pouvoir.

Avec un mélange de un tiers de maigre et deux tiers de demi-gras, la composition en volume se rapproche des chiffres ci-dessous :

H	8,0 p. 100
CO	23,5 —
Carbures	3,0 —
CO^2	4,0 —
O	0,0 —
Az	61,5 —
	100,0 —

Volume par kilogramme de houille = 4.878 litres.
Pouvoir calorifique = 1.146 calories.

Ces gaz conviennent bien au chauffage des fours ; on les emploie avec succès pour chauffer les cornues à gaz, les fours de la céramique et de la verrerie. Mais c'est en métallurgie que le gaz à l'air a conduit aux meilleurs résultats, à la suite de l'initiative féconde des frères Siemens en 1860.

Ce qui caractérise surtout l'œuvre de ces ingénieurs, c'est la création des chambres de régénération et de récupération, disposées par deux paires placées aux extrémités du four. Deux de ces chambres situées à un bout sont traversées par les gaz brûlés, sortant du four à une température élevée ; elles s'échauffent et emmagasinent du calorique. Au bout d'un certain temps, lorsqu'elles sont suffisamment chaudes, on renverse le courant en obligeant les produits de la combustion à cheminer en sens contraire. Le gaz à l'air venant du gazogène, et l'air destiné à le brûler, traversent alors chacun une des deux chambres qui viennent d'être chauffées ainsi, en recueillant la chaleur emmagasinée dans leurs parois réfractaires ; ils se rencontrent ensuite dans le four et se combinent en développant une très haute température. Entre temps, les gaz résultant de cette combinaison réchauffent l'autre paire de régénérateurs, en sortant par l'autre extrémité du four.

A la suite de plusieurs renversements, la température atteint la limite de dissociation, qui est le maximum qu'on puisse réaliser.

Il est donc permis de dire que le four Siemens conduit aux plus hautes températures auxquelles on puisse prétendre dans des conditions ordinaires, le gaz ayant la qualité requise, le mélange de l'air étant bien réglé et la quantité fournie se trouvant suffisante.

La flamme arrive alors au blanc éblouissant.

Pour mieux assurer le mélange du gaz combustible et de l'air, on les admet par des conduits faisant entre eux un angle de 60 degrés, généralement au nombre de trois pour le gaz et deux pour l'air. On a reconnu qu'il est avantageux de placer les tuyères d'air au-dessus des autres, attendu que l'air est plus lourd que le gaz.

On emploie les combustibles carbonisés ou crus ; la composition du gaz à l'air n'est pas la même.

	Composition du gaz en volume	
	Combustible cru	Combustible carbonisé
H.....	7,6	1,5
CO.....	27,1	33,6
CH^4	4,1	0
CO^2	3,8	0,7
Az	57,4	64,2
	100,0	100,0
Poids spécifique	1,170	1,235
Pouvoir calorifique.....	1.180	1.037

En allure chaude du gazogène, il se produit plus d'hydrogène et d'oxyde de carbone, et le gaz est un peu plus riche ; aussi les métallurgistes cherchent-ils à maintenir les gazogènes à une température élevée.

V. — LE GAZ A L'EAU

Nous avons déjà dit que le gaz à l'eau est le résultat de la décomposition de l'eau par le carbone incandescent, suivant la formule $H^2O + C = 2H + CO$; d'après cela, ce gaz serait formé d'un demi-volume d'hydrogène et d'un demi-volume d'oxyde de carbone, ce qui ferait en poids 6,7 du premier gaz et 93,3 du second. Ces réactions se produiraient au rouge blanc ; mais elles commencent au rouge sombre, dès 450° ; et alors les choses se passeraient suivant la formule.

$$2H^2O + C = 4H + CO$$

En réalité, les deux phénomènes se produiraient simultanément.

D'autre part, le coke dont on se sert n'est pas du carbone pur et il renferme toujours quelques produits volatils ; en Amérique, on emploie de l'anthracite, dont la teneur en hydrogène est comprise entre 2 à 3 p. 100.

J'ai montré de plus qu'au contact du carbone et de la vapeur d'eau il se forme de l'anhydride carbonique.

Enfin, les procédés de gazéification introduisent toujours de l'air dans les appareils, de sorte que le gaz n'est pas entièrement dépourvu d'azote.

Il n'est donc point étonnant que l'on trouve dans le gaz à l'eau, à côté de H et de CO, qui sont ses éléments théoriques essentiels, du méthane, de l'anhydride carbonique et de l'azote, avec plus ou moins d'hydrogène sulfuré, provenant des pyrites du charbon employé.

Au cours de la fabrication, la composition du gaz se modifie à mesure qu'on s'éloigne de la période de soufflage à l'air ; voici ce que M. Fischer a observé à cet égard.

	Première minute	Après 2 min. 5	Après 4 minutes
H.	44,8	48,9	51,4
CO	45,2	44,6	40,9
CH^4	1,1	0,4	0,2
CO^2	1,8	3,0	5,6
Az	7,1	3,1	1,9
	100,0	100,0	100,0

J'extrais d'un mémoire de M. Moore la composition moyenne d'un gaz à l'eau produit par un appareil Strong, avec de l'anthracite :

H	53 volumes
CO	35 —
Carbures	4 —
$CO^2 + Az + O$	8 —
Densité	0,54
Pouvoir inférieur	2.500 calories

On s'accorde à dire que la composition du gaz à l'eau est comprise entre les limites ci-dessous.

H	46	à	53	p. 100 en volume
CO	35	à	43	—
CH^4	2	à	6	—
CO^2	0,5	à	1,5	—
$Az + O$	3	à	5	—

Pouvoir inférieur : 2,300 à 2,600 calories

Mais M. Ledebur admet une composition moyenne plus riche ; d'après lui, le gaz aurait une densité égale à 0,53 et un pouvoir supérieur de 3.630c alories ; sa température théorique de combustion serait de 2.740°, alors que le gaz à l'air ne donne que 1950°.

C'est ce qui rend le gaz à l'eau particulièrement utile pour souder les métaux.

Pour effectuer une bonne soudure, il est nécessaire d'abord de disposer d'une flamme chaude et non oxydante ; de plus il importe que cette flamme ne renferme aucun corps solide étranger et ne produise aucun dépôt solide. L'hydrogène satisfait à ces conditions, mais le gaz à l'eau les remplit presqu'aussi bien et il coûte moins cher ; le gaz d'éclairage forme des dépôts de carbone. Avec le gaz à l'eau employé au chalumeau, on réussit très bien la soudure autogène ; il faut veiller à ce qu'il y ait toujours excès de gaz pour empêcher toute oxydation du métal. C'est au gaz à l'eau que se faisaient les soudures de réservoirs, de brides de tuyaux, de tubes à gaz comprimés, etc. ; aujourd'hui l'hydrogène reprend quelques avantages dans ce domaine.

En sidérurgie, le gaz à l'eau n'a pas gardé beaucoup de clients ; mais il a trouvé néanmoins quelques applications dans les cas où l'on ne pouvait ou ne voulait pas chauffer au préalable le gaz combustible et l'air. En verrerie, on pourrait aussi en citer d'heureux emplois.

Les Américains ont remplacé souvent le gaz d'éclairage par du gaz à l'eau carburé à froid par le benzol, ou bien à chaud, par les huiles de naphte. Ils ont aussi imaginé de mêler les deux gaz, ainsi que nous le dirons plus loin en traitant des applications des gaz de gazogènes.

Pour ce qui est de la production de la puissance motrice, le gaz à l'eau n'est pas recommandable. Sa haute teneur en hydrogène exclut l'usage des fortes compressions auxquelles les moteurs doivent leurs remarquables rendements : à un autre point de vue, la contraction après combustion est considérable et il y a forte production de vapeur d'eau, ce qui n'est pas toujours avantageux. Cela est dit du gaz à l'eau proprement dit et ne s'adresse nullement aux gaz formés de gaz à

l'eau et de gaz à l'air, dont nous allons nous occuper maintenant.

VI. — LE GAZ MIXTE DIT GAZ PAUVRE

La chose était née avant le nom.

J'ai déjà dit que dès les premiers temps de la gazéification on reconnut l'utilité de refroidir par de l'eau les grilles des gazogènes, pour éviter les inconvénients des températures extrêmement élevées auxquelles elles étaient soumises : Siemens faisait couler de l'eau sur le sol de la fosse de ses appareils. Il ne produisait donc pas strictement de gaz à l'air, mais un mélange de gaz à l'air et de gaz à l'eau, donc un gaz mixte. Du reste, l'humidité apportée par le combustible lui-même, qui n'est jamais absolument sec, suffisait pour donner lieu aux réactions entre H^2O et C qui conduisent à la production du gaz à l'eau.

Si l'air était peu chargé de vapeur, on obtenait un gaz contenant de 25 à 30 d'oxyde de carbone, de 4 à 10 d'hydrogène, et peu d'anhydride carbonique ; la quantité de vapeur venant à augmenter, il pouvait se produire un renversemencent des proportions de CO et de H, ce dernier s'élevant à 18 contre 10 à 12 du premier.

Ces résultats avaient déjà été observés par Ebelmen et puis par Thomas et Laurens, qui injectaient dans leurs gazogènes un mélange d'air et de vapeur surchauffée, le poids d'eau injecté étant estimé au $\frac{1}{35}$ du poids de l'air. La présence de l'eau en face des produits carburés volatils donnait lieu à des réactions secondaires multiples, dont voici deux exemples :

$$CH^4 + H^2O = CO + 6H$$
$$C^2H^4 + 2\,HO^2 = 2CO + 8H$$

On faisait encore du gaz mixte en fabriquant tour à tour et par intermittences du gaz à l'eau et du gaz Siemens, qui se mélangeaient au moment du changement de régime.

Il est évident que le gaz mixte était plus riche que le gaz à l'air ; par contre, il était moins riche que le gaz à l'eau, ce qui lui valut sa dénomination toute relative de gaz pauvre, sous laquelle il a fait fortune.

Dowson ne fut pas son père, il a été son parrain.

Je n'entends diminuer aucunement son mérite, que ses compatriotes reconnurent par l'octroi de la grande médaille d'or de sir William Siemens ; ses gazogènes eurent d'innombrables clients dans le monde entier. Ils contribuèrent au succès des moteurs à gaz et le partagèrent. En employant les charbons convenables et en conduisant bien la gazéification, on arrivait à des consommations de charbon extrêmement réduites que la machine à vapeur n'avait jamais procurées. Le gaz pauvre de 1878 a fait époque dans l'histoire des machines thermiques. Nous devions le rappeler, mais ce n'est pas le moment d'y insister, car nous réservons ces questions pour un chapitre spécial de notre petit livre.

Que la qualité des gaz pauvres soit variable, nul ne s'en étonnera, car elle dépend dès combustibles que l'on emploie et de la manière dont on les emploie.

On s'en rendra compte par les résultats d'analyses que nous allons présenter.

	COMPOSITION EN VOLUME					
	A	B	C	D	E	F
H	8,2	10,3	10,75	16,00	20,0	29,0
CO	24,2	20	26,50	11,80	11,3	11,0
CH^4	2,2	0,5	3,75	2,71	0,5	2,0
C^2H^4	1,0	»	0,50	0,29	»	»
CO^2	4,2	5,5	1,25	4,18	5,5	16
Az	61,2	62,7	57,25	64,20	62,7	42
O	»	»	»	0,82	»	

Nous voyons, de A en F, croître le pourcentage d'H et décroître celui de CO, cela est généralement, mais il faudrait se garder d'en faire une loi absolue.

QUALITÉ DES CHARBONS	COMPOSITION EN VOLUME				
	Anthracite anglais	Houille anthraci-teuse	Houille du Durham	Charbon gras	Bruay à 32 % de mat. vol.
H	0,33	12,0	11,55	20,0	16,0
CO	26,08	24,0	26,89	21,0	21,0
CH^4 ...	1,05	1,2	1,45	3,5	1,5
C^2H^4 ..	»	»	»	0,5	5,0
CO^2 ...	6,50	5,5	4,0	5,0	6,5
Az	65,81	57,3	56,11	49,5	53,0
O.....	0,23	»	»	0,5	1,0

Le tableau suivant est de Lencauchez.

Qualité des Charbons	Anthra-cite	Anthracite à 12 % de mat.vol.	Coke d'usine à gaz	Poussier à 14 % de mat.vol.	Noisettes à 32 % de mat.vol.	Houille d'Ecosse à 41 % de mat.vol.
H	18,8	20,0	10,83	12,27	16,85	11,0
CO	21,3	21,0	21,76	22,91	22,75	26,65
CH^4	4,1	3,50	1,10	4,62	2,05	4,86
C^2H^4	0,5	0,5	1,38	1,00	»	0,27
CO^2	1,6	5,0	3,57	2,96	4,05	3,42
Az.....	53,0	49,5	61,36	55,62	54,30	53,80
O.....	0,7	0,5	»	0,62	»	»

J'ai donné ces chiffres dans le seul but de démontrer qu'il est imprudent de légiférer en cette matière si complexe ; ceux qui ont tenté de le faire ont pris leurs intuitions pour des réalités. On ne peut trouver de formule générale qui, tenant compte de la qualité du combustible et de la proportion d'eau injectée avec l'air, permette de prévoir, même d'une manière approchée, la composition du gaz engendré, attendu qu'il faudrait faire état en même temps du mode de combustion, de la hauteur et du diamètre de la cuve, de la température développée, des pertes de calorique, etc., etc., et d'un grand nombre d'autres éléments que je laisse à l'imagination du lecteur le soin de détailler et d'énumérer.

Peut-on même parler d'une composition moyenne des gaz

pauvres ? Je n'ose le faire, puisque l'on a vu dans les colonnes ci-dessus la proportion d'hydrogène passer de 0,33 p. 100 à 29 et celle de CO de 1 à 27.

Sera-t-il possible, dans ces conditions, de fixer le nombre de volumes d'air nécessaire pour obtenir une combustion complète ?

Que dire des pouvoirs calorifiques ? J'ai effectué à l'aide de ma bombe eudiométrique des centaines de déterminations qui m'ont donné les résultats les plus variés, de 930 à 1.500 calories au mètre cube, en pouvoir supérieur. Ce sont, il est vrai, des cas extrêmes, dont il est permis de resserrer les limites entre 1.000 et 1.300 calories.

Une remarque prend de l'importance dans l'espèce. La proportion relative d'H et de CO dans le gaz influe peu sur son pouvoir calorifique, parce qu'à volume égal les deux gaz ont à peu près la même valeur thermique : 2 grammes d'hydrogène dégagent en brûlant 69 calories et 28 d'oxyde de carbone en donnent un peu plus de 68. Les carbures modifient par contre beaucoup les pouvoirs et il suffit de quelques centièmes de méthane et d'éthylène pour enrichir notablement un gaz pauvre ; le premier de ces gaz renferme autant de carbone que CO et le second en contient le double et tous deux sont riches en hydrogène. Il en résulte que, à volume égal, le méthane est trois fois plus riche que H et CO, et l'éthylène cinq fois. Aussi ai-je toujours apporté le plus grand soin, dans mes analyses, aux déterminations des hydrocarbures, ce qui ne laisse pas que de présenter quelques difficultés.

VII. — LE GAZ DE HAUT-FOURNEAU

Voilà assurément le plus important produit des gazogènes ; on applique les gaz des hauts-fourneaux à toute espèce de chauffages, mais il en reste des millions de mètres cubes disponibles pour l'alimentation directe des moteurs annuellement, et l'on peut estimer à près de 1.200.000 chevaux effectifs la puissance ainsi développée (1).

---

(1) Sur ce chiffre, la moitié doit être attribuée à l'Allemagne et un tiers à l'Amérique ; la France ne peut même pas en revendiquer un

Des progrès extraordinaires ont été réalisés en une cinquantaine d'années dans la sidérurgie ; il est loin le temps des petits fourneaux (on disait quand même les *hauts*-fourneaux) de la Haute-Marne et du Doubs, ayant une hauteur d'une dizaine de mètres, mesurant 2 m. 50 de diamètre, produisant en vingt-quatre heures de 8 à 10 tonnes de fonte ; aujourd'hui, ils ont trente-cinq mètres de haut, huit mètres de diamètre et il en sort journellement 200 tonnes ; les Américains dépassent ces chiffres de beaucoup.

Les rendements ont suivi la même marche ascendante vers le progrès ; il y a cent ans, il fallait 8 tonnes de houille par tonne de fonte, aujourd'hui la *mise au mille* est souvent inférieure à une tonne. Et ces résultats sont dus en majeure partie à ce que le haut-fourneau a été considéré comme un gazogène !

Le gaz de haut-fourneau, dont la production atteint 4.500 mètres cubes par tonne de coke consommé, est composé moyennement d'oxyde de carbone, mêlé d'un peu d'hydrogène et de méthane, ces gaz étant noyés dans un assez grand volume d'azote, d'anhydride carbonique et de vapeur d'eau, avec grand accompagnement de poussières. C'est un gaz pauvre, généralement assez sale : il demande à être nettoyé avec soin.

Sa composition dépend de la quantité de coke et du volume du vent, et aussi de la nature du minerai employé ; ici encore il est difficile d'être précis et il faut renoncer à être exact, dans une question soumise à tant d'influences perturbatrices.

Donnons néanmoins quelques chiffres, à titre d'indication générale.

M. Hubert a traité le problème scientifiquement et il a déterminé par le calcul la composition du gaz d'un fourneau alimenté de coke à 850 kilogrammes de carbone par tonne, dont 37,5 restait dans la fonte, recevant 3.626 kilogrammes d'air, le minerai donnant 431 kilogrammes d'oxygène. La composition du gaz serait dès lors celle qui suit.

---

dixième. Il est permis d'espérer que désormais notre pays regagnera le temps et le terrain perdu.

H et carbures	1,02 en poids
CO	27,90 —
CO^2	13,95 —
Az	50,12 —
H^2O	7,01 —
	100,00 en poids

Le kilogramme de ce gaz donnerait en brûlant 820 calories.

Son poids spécifique serait de 1 kgr. 322 par mètre cube.

Pouvoir supérieur par mètre cube : 1166 calories.

Le pouvoir inférieur serait légèrement moindre, vu la faible teneur en hydrogène et méthane.

M. Ledebur donne les résultats de nombreuses analyses, dont la moyenne est celle-ci :

	En volume	En poids
H	2	0,2
CO	24	24
CH^4	2	0,8
CO^2	12	17
Az	60	58

Il estime le pouvoir inférieur d'un tel gaz à 950 calories et son poids spécifique à 1.300 grammes par mètre cube ; un kilogramme de charbon engendrerait 9 mètres cubes ; un fourneau de 100 tonnes aurait une production de 400.000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

M. Lürmann a donné la composition que voici pour un fourneau consommant 1.100 kilogrammes de coke par tonne de fonte ; cet élément est important à considérer.

	En volume
H	3,0
CO	27,5
CO^2	10,0
Az	54,5
H^2O	5,0
	100,0

Un gaz d'un haut fourneau luxembourgeois m'a donné la composition suivante, après dessiccation :

	En volume
H	4,55
CO	25,83
CH^4	0,15
CO^2	11,72
O	0,25
Az	57,50

D'après le calcul son pouvoir était de 937 calories, pouvoir supérieur ; ma bombe a donné 922 (1).

Letombe a estimé ainsi qu'il suit la composition moyenne des gaz de fourneaux :

	En volume
H	4 à 0,1
CO	22 à 25
CH^4	2 à 0,4
CO^2	9 à 5
Az	63 à 59,5

Il évalue le pouvoir entre 800 et 1000 calories en faisant observer, avec raison, que des pouvoirs plus bas ont quelquefois été trouvés en se servant de calorimètres à combustions incomplètes.

J'ai fait de nombreux essais calorimétriques de gaz de fourneaux de toute provenance ; le pouvoir le plus bas que j'aie déterminé a été celui d'un fourneau d'Espagne, 875 calories ; par contre, un fourneau du Luxembourg m'a donné 1.057 calories, pouvoir supérieur, vapeur d'eau condensée à 15°. Mais c'était un gaz d'une richesse exceptionnelle, mis à ma disposition, durant quelques heures, en vue d'essais de moteurs.

La quantité de poussières entraînées varie extrêmement, suivant la qualité des minerais : on trouve quelquefois 15 grammes par mètre cube, ce qui est un maximum ; le minimum ne descend que bien rarement au-dessous de 3 à 4 grammes. Ces poussières sont formées de silice, chaux, alumine, soude et

---

(1) Je cite ce chiffre pour démontrer que ma bombe ne donne pas de résultats erronés par excès comme on a paru le craindre, en comparant les pouvoirs que je déterminais avec ceux que donnait le calorimètre de Junkers ; je reviendrai sur cette question.

potasse, oxyde de fer, de manganèse, de magnésium, de zinc, etc. ; quelques-unes sont d'une extrême finesse et d'une telle légèreté qu'il est presqu'impossible de s'en débarrasser.

Les poussières ont été un grand obstacle à l'utilisation des gaz de hauts-fourneaux, même dans les appareils de chauffage, pour lesquels une épuration sommaire s'impose déjà.

Le bilan de l'emploi des gaz d'un fourneau de moyenne taille, soit de 100 tonnes par vingt-quatre heures, pouvait s'établir ainsi qu'il suit, il y a quelques années.

Gaz produit au gueulard	Gaz consommé aux Cowper . .	30 p. 100
	— en chaudières	20 —
	— perdu	10 —
	— en moteurs à gaz	40 —
		100,00

Les chaudières alimentaient des machines à vapeur, qui développaient environ 350 chevaux, affectées à la commande des soufflantes, de pompes diverses, d'appareils élévatoires, etc. ; les 40 p. 100 qui restaient disponibles alimentaient des moteurs à gaz, actionnant des stations centrales d'électricité, qui répartissaient leur courant (continu ou alternatif) entre de nombreux services auxiliaires et produisaient la lumière. Or, l'expérience avait démontré rapidement que, même pour les Cowper et les chaudières, il fallait absolument procéder au nettoyage des gaz.

Ces Cowper sont des récupérateurs de chaleur constitués par des carneaux en briques réfractaires, dans les empilages desquels on fait brûler les gaz ; lorsque leur température a atteint un certain degré, on arrête l'afflux du gaz combustible et l'on fait circuler dans l'appareil le vent d'insufflation aux tuyères. Les résultats d'une telle opération sont d'autant meilleurs que les carneaux sont plus propres ; dès qu'ils s'encombrent de poussières, le rendement s'abaisse ; les gaz brûlés dans la première phase sortent plus chauds à la cheminée, le vent réchauffé arrive moins chaud aux tuyères et l'on est obligé de pratiquer des inversions plus fréquentes. Rien que du fait de la moindre faculté d'échange des récupérateurs, on subissait une perte qu'il est difficile de chiffrer, mais qui dépassait certainement 5 p. 100.

Même phénomène aux chaudières, où un manque d'épuration se traduisait encore par une perte de quelques pour cent, et je ne parle ici que des pertes thermiques, ne faisant pas état des frais de nettoyage, de la détérioration des appareils, de l'augmentation de l'amortissement, etc.

Pour ce qui est du gaz allant aux moteurs, la question était bien plus grave. Lors des premiers essais effectués à Seraing, aux Etablissements Cockerill, par MM. Delamare-Debouteville, Bailly et Kraft, auxquels j'ai collaboré (1), nous avions eu affaire avec un gaz remarquable, qui n'imposait presque pas d'épuration ; d'ailleurs, en prenant le gaz pour moteurs sur les canalisations principales par des dérivations de faible section, nous prélevions un gaz relativement propre, les poussières suivant le flot de gaz, continuant de cheminer avec lui, sans se laisser détourner vers ces prises latérales. Le succès des expériences faites dans ces conditions fit concevoir à cette époque des illusions que la pratique des fourneaux luxembourgeois se chargea rapidement de dissiper. Les gros moteurs à quatre temps et monocylindriques, montés notamment à Differdange, furent rapidement mis hors de service et l'on reconnut enfin l'absolue nécessité d'épurer à fond les gaz destinés aux moteurs. On impose aujourd'hui à ces gaz de ne plus tenir que quelques centigrammes de substances solides par mètre cube.

Du jour où l'on immobilisa de grands capitaux pour établir d'immenses usines d'épuration, il fut tout indiqué de brûler de moins en moins de gaz sous les chaudières et de les utiliser directement en moteurs pour la plus grande part. Ces machines actionnent aujourd'hui les soufflantes, et les centrales d'électricité ont pris un développement énorme. C'est une véritable révolution qui s'est opérée en sidérurgie et elle est due au haut-fourneau, devenu un gazogène. Un mot suffira pour apprécier l'économie faite de ce chef : pour développer le cheval-heure effectif par chaudières et machines à vapeur, il fallait au moins 12 mètres cubes de gaz ; mes essais de 1906 à Seraing, sur un moteur

---

(1) J'ai été chargé de faire, en juillet 1895, un grand nombre de mesures calorimétriques en vue de déterminer le pouvoir des gaz prélevés en des circonstances et des points variés.

de 1.600 chevaux, ont démontré que le cheval-heure effectif avait coûté 2,392 mètres cubes d'un gaz à 988 calories (pouvoir supérieur) (1).

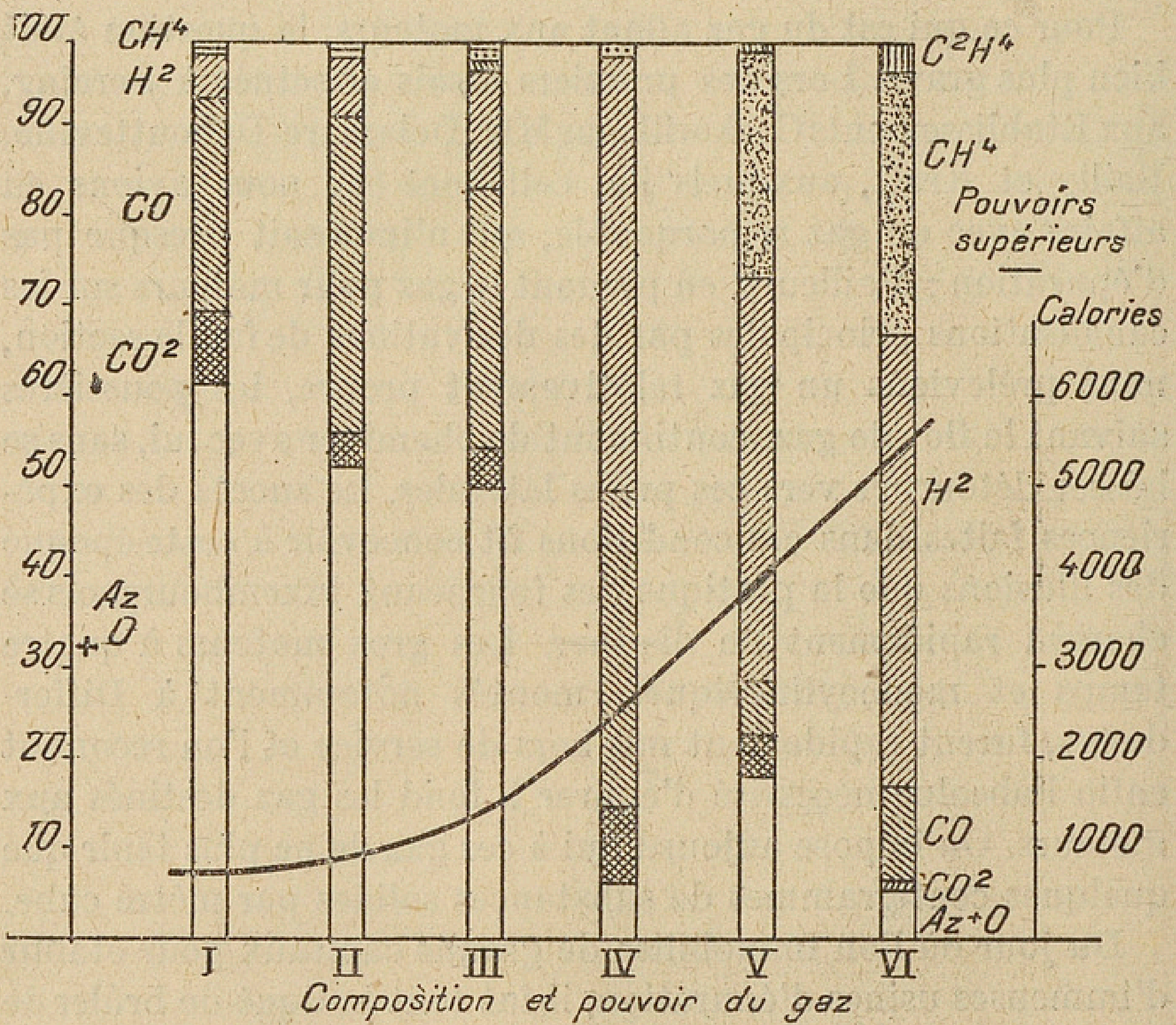


Fig. 3. — Composition et pouvoir des gaz.

VIII. — PARALLÈLE ENTRE LES GAZ DE GAZOGÈNES

Il convient maintenant de jeter un regard derrière nous pour rapprocher et classer les données accumulées dans les paragraphes qui précèdent.

Le schéma de la figure 3 et la courbe qui l'accompagne constitue une illustration qui peint aux yeux les considérations

---

(1) Witz. *Deuxième évolution du Moteur à gaz* (Paris, Geissler, 1910), page 242.

émises et les résultats relevés, au double point de vue de la composition des gaz et de leurs pouvoirs calorifiques supérieurs ; les numéros d'ordre de I à VI correspondent au gaz de haut-fourneau, au gaz d'air et mixte, au gaz à l'eau, à celui des fours à coke et des usines à gaz. Ils sont rangés dans l'ordre de leur richesse. Les gaz inertes sont au pied du schéma, dont la partie supérieure est attribuée aux gaz combustibles, CO, H, CH^4 et C^2H^4.

Lencauchez avait composé un tableau reproduit ci-dessous, dans lequel il a classé sur des bases analogues les divers gaz; nos chiffres ne concordent pas entièrement, mais le lecteur ne s'étonnera pas des écarts qu'il constatera entre eux, maintenant qu'il sait à quoi s'en tenir sur les caractéristiques plus ou moins spécifiques des diverses espèces de gaz.

NATURE DES GAZ	COMPOSITION EN VOLUME					Pouvoir supérieur au mètre cube
	H	CO	CH^4	CO^2	Az	
						calories
Gaz à l'air au coke (Siemens) A.	traces	25,7	»	4,5	69,8	773
Gaz à l'eau B.....	49,2	43,8	0,3	2,7	4,0	2.884
Mélange 4 A + 1 B	11,2	30,8	»	2,2	55,8	1.223
Gaz mixte normal.....	12,7	23,2	»	8;8	55,3	1.026
Gaz avec excès de vapeur d'eau	19,9	16,0	»	14,2	49,9	1.081
Gaz mixte Dowson :						
— normal (M. Pfeifer)	17,6	29,4	»	5,9	47,1	1.363
— — (M. Schilling) ...	17,0	23,0	2,0	6,0	52,0	1.313
— à l'anthracite anglais ...	18,4	26,8	0,6	7,2	47,0	1.346
— avec charbons divers....	18,2	18,2	1,0	9,0	53,5	1.115
— avec charbons allemands	21,9	15,9	0,7	11,4	50,7	1.018
Gaz Mond	25	13,0	2,3	12,9	46,8	1.386

Le même auteur a donné un autre tableau, non moins instructif, que nous croyons utile de reproduire ici en majeure partie en modifiant toutefois quelque peu son ordonnance (1).

---

(1) Etudes sur divers gaz combustibles ; Société des Ingénieurs civils, 7 et 21 avril 1899. On s'étonnera peut-être de quelques pouvoirs, mais Lencauchez fait autorité dans la matière et nous ne nous permettrons pas de modifier ses chiffres.

Valeur relative des principaux gaz de gazogènes employés dans l'industrie.

CHARBON gazéifié		Coke	Anthracite anglais	Maigre d'Anzin	Flénu de la Sarre	Houille d'Ecosse	Lignite	Tourbe de Picardie	Bois
Combustible	Cendres .	10 %	3	8	14	10	12	11	1,6
	Mat. vol.	2 %	10	12	28	30	35	36	40
	Eau	10 %	1 à 2	2	9	10	15	34	33
Composition du gaz en volume	H	12,83	20,34	10,75	15,82	14,50	4,40	5,76	10,76
	CO	27,06	21,32	26,50	17,63	29,50	32,80	34,02	32,40
	CH^4	0,88	3,50	3,75	3,87	4,45	2,60	1,03	2,00
	C^2H^4 ...	0,10	0,55	0,50	1,44		0,60	0,56	0,53
	CO^2	3,57	4,45	1,25	5,58	3,0	2,10	2,02	7,30
	Az	55,56	49,84	57,25	55,66	48,55	57,50	56,61	46,30
Pouvoir inférieur du gaz en calories ...		1140	1520	1466	1450	1650	1427	1348	1480

Si l'on peut dire que tous ces gaz conviennent aux chauffages, plus ou moins intensifs, avec ou sans régénération du calorique, il serait téméraire de croire qu'on peut tous les appliquer à la production de la puissance motrice.

Et d'abord, pour l'usage des moteurs, il faut un gaz épuré et très propre.

Qui n'a pas connu les ennuis causés par ces produits, que Lencauchez appelait, avec l'humour qui lui était particulière, les « goudrons vésiculaires vagabonds » que l'on a tant de peine à fixer sur quoi que ce soit et qui se faufilent à travers tout : « ils traversent, disait-il, les réfrigérants dits jeux d'orgue, les laveurs et les épurateurs à filtres superposés à sciure de bois, ils échappent aux condenseurs à choc Pelouse et Auduin et vont flotter des journées entières dans des gazomètres de 150 à 200 mètres cubes de capacité, où la vitesse ascensionnelle du gaz, due à des dispositions spéciales, est inférieure à 3 millimètres à la seconde ; ... si, des gazomètres, ledit gaz va à un moteur à gaz, des types courants, il se cale et bloque les sou-

papes de distribution en quelques instants en rendant matériellement impossible la marche de la machine. » Celui qui écrivait ces lignes m'apporta un jour, dans mon laboratoire de la Faculté catholique des Sciences de Lille, un goudron de gazogène à lignite des Bouches-du-Rhône, dont le *vagabondage* avait dépassé toute attente, et qu'on n'avait réussi à précipiter partiellement que par un écrasement à haute pression dans un ventilateur laveur à la température de 50°. Ces difficultés d'emploi sont tellement grandes, qu'elles deviennent parfois prohibitives pour certains combustibles, quoi qu'en aient pu écrire quelques inventeurs dont les sensationnelles créations ont eu plus de succès théorique que pratique.

D'autres difficultés sont nées, mais d'un ordre moins important, de la teneur de certains gaz en hydrogène ; cette teneur ne permettrait pas l'usage des fortes compressions, nécessaires dans les moteurs à gaz. J'ai étudié la question avec soin et l'ai traitée dans une communication présentée au Congrès international de la mécanique, tenu à Liége en juillet 1905. On me permettra de reproduire ici le raisonnement que j'ai tenu à cette époque, et qui me paraît encore exact (1).

Le régime de combustion d'un mélange tonnant, explosant dans le cylindre d'un moteur à quatre temps, derrière un piston, est évidemment tributaire de la proportion d'hydrogène contenue dans le mélange. Les travaux de MM. Berthelot et Vieille ont établi en effet que la vitesse de propagation de l'explosion est beaucoup plus considérable pour l'hydrogène, le méthane et l'éthylène que pour l'oxyde de carbone ; elle est de 2810 mètres pour $H^2 + O$ et de 1089 seulement pour $CO + O$. De plus, la combustion du mélange $H^2 + O$ produit une onde explosive dont la pression maximum est très élevée ; cette pression est fugitive, il est vrai, car elle est suivie aussitôt d'une condensation qui l'atténue, mais elle donne lieu néanmoins à des effets marqués, surtout dans les mélanges très fortement comprimés. L'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instant de l'inflammation du mélange et le maximum de pression est toujours ap-

(1) Witz. Les meilleurs gaz pauvres ; Congrès de mécanique appliquée de Liége (Liége, La Meuse, 1905), page 179.

préciable, mais il est moindre pour $H^2 + O$ que pour $CO + O$ dans une bombe de 4 litres, l'intervalle est de 0 sec. 0016, dans le premier cas, et de 0 sec. 0267 dans le second cas ; la combustion est donc plus rapide. Le diagramme du moteur montera plus vite et il sera plus pointu ; mais la pression explosive ne sera généralement pas plus élevée.

Ce que nous venons de dire explique donc le fait, bien connu des praticiens, c'est que les gaz très riches en hydrogène donnent souvent un coup dur et font choquer un peu le moteur ; mais si l'impulsion motrice exercée sur le piston est plus vive, elle n'est pas sensiblement plus puissante, de telle sorte qu'on n'ait pas à s'effrayer de ces chocs ; je ne crois même pas qu'il y ait lieu de réduire la compression, si le mélange est convenablement appauvri. Cette opinion est confirmée entièrement par les résultats des essais faits par M. Humphrey sur le gaz Mond ; ce gaz renfermait 28 volumes d'hydrogène et 2 volumes de méthane, et son pouvoir était de 1.432 calories. Or, la compression atteignait 10 kilogrammes dans les puissants moteurs de 500 chevaux essayés en décembre 1900 : la pression explosive montait alors à 23 kilogrammes et la consommation du gaz ressortait à 1.959 litres par cheval-heure effectif, ce qui mettait le cheval à 2.519 calories. Malgré la haute teneur du gaz en hydrogène, la marche du moteur était donc économique et son long fonctionnement a témoigné de la sécurité parfaite qu'elle présentait. L'hydrogène n'est par conséquent point tant à redouter dans les gaz pauvres.

Les moteurs s'accommodent très bien des gaz les plus pauvres et ils montrent à cet égard une tolérance qui a dépassé nos espérances les plus optimistes. J'ai vu certains moteurs fournir une marche régulière avec des gaz tellement pauvres qu'il était impossible de les faire brûler à l'air, et dont j'estimais le pouvoir à 800 calories au plus. Mais, en général, même pour les gaz de hauts-fourneaux, on peut compter sur un pouvoir d'au moins 900 calories et alors l'allumage des charges se fait à coup sûr : c'est une question de forme de culasse, de position de la bougie, de degré de compression et de fabrication du mélange.

Les moteurs à gaz pauvres diffèrent des moteurs à gaz de ville en ce que leur cylindre doit avoir une dimension supérieure

pour compenser la perte de puissance évaluée à 15 ou 20 p. 100 environ. La constitution du mélange s'effectue par 1 ou 0,8 d'air pour 1 de gaz ; il faut veiller à opérer une diffusion parfaite et à donner aux canalisations les sections nécessaires ; enfin, les constructeurs ont à se préoccuper des poussières et des goudrons, au double point de vue de l'encrassement des organes et de l'évacuation hors du cylindre des particules solides. Dans ces conditions, les moteurs peuvent donner un aussi beau rendement avec le gaz pauvre qu'avec le gaz de ville ; on ne peut donc pas dire que ce rendement soit fonction de la richesse du gaz pauvre consommé.

Les résultats suivants, que m'a obligeamment communiqués M. Mathot, sont instructifs à cet égard : ils se rapportent à deux essais du même moteur, alimenté tour à tour de gaz de ville et de gaz pauvre, celui-ci débité par un gazogène par aspiration.

	Marche	
	Au gaz pauvre	Au gaz de ville
Puissance effective développée ..	31,2 chevaux	40,0 chevaux
Pression moyenne au diagramme.	5 kgr. 82	6 kgr. 25
Pouvoir calorifique du gaz	1221 calories	5300 calories
Consommation par cheval-heure effectif	318 gr. 5 d'anth.	437 lit. de gaz

La consommation en calories a été de 2.491 calories pour le gaz pauvre et de 2.316 pour le gaz de ville ; les rendements effectifs prenaient donc les valeurs 25,5 et 27,3, mais dans le premier cas sont incluses les pertes de gazéification, égales à 20 p. 100 au moins, de telle sorte qu'évalué en calories du gaz, le rendement est inférieur pour le gaz de ville que pour le gaz pauvre. Cet exemple est typique. Il concorde avec nombre d'autres expériences, qui démontrent que l'utilisation des gaz pauvres est pour le moins aussi bonne que celle des gaz de distillation, d'un pouvoir calorifique élevé. Je citerai les consommations de 326 grammes d'anthracite relevées à Deutz par MM. Mathot, de Herbais et moi ; de 372 grammes constatée par moi, à Lille ; de 395 grammes observée par M. Allaire, à Saint-Ouen, etc. Les expériences faites sur les gaz des hauts-

fourneaux donnent des résultats analogues ; à Differdange, je trouvais une dépense de 2.825 litres en gaz à 1.046 calories par cheval-heure effectif ; à Seraing, je mesurais 3.329 litres en gaz à 981 calories et M. Hubert, 3.495 litres en gaz à 984 ; à Rombach, 2.262 litres en gaz à 785 calories, pouvoir *inférieur* déterminé par un calorimètre à combustion à l'air libre de Junkers.

Dans un essai plus récent que je viens de faire sur un gazogène par aspiration Pierson, alimenté de charbon d'Anzin, j'ai relevé une pression moyenne au diagramme de 6 kilogrammes, témoignant d'un régime de combustion excellent.

Au point de vue de leur emploi dans les moteurs, les gaz pauvres valent donc les gaz des plus riches : les plus pauvres sont loin d'être les moins bons.

Le gaz de ville a longtemps trouvé une bonne et fidèle clientèle dans les petits ateliers ; il y a rendu, durant de longues années, d'inestimables services. Tous les corps de métiers lui sont redevables de facilités remarquables pour la commande de leurs machines. On possédait enfin un moteur n'exigeant ni foyer, ni chaudière, ni chauffeur, ni approvisionnement de combustible, ne donnant point de fumée, pouvant être mis instantanément en marche par la simple manœuvre d'un robinet et ne consommant rien pendant ses périodes d'inaction. C'était merveille. Mais ce petit moteur va trouver maintenant un rude concurrent dans les distributions d'électricité et dans les moteurs que le courant fait tourner, dans des conditions au moins aussi remarquables, si ce n'est plus. On en dira autant du petit moteur à gaz pauvre dont on a peut-être célébré outre mesure les rares mérites. A lui, il faut un chauffeur, et un approvisionnement de combustible, et il ne s'accommode pas de n'importe quel combustible. La formule, le cheval-heure effectif par 400 grammes, est assurément une brillante et séduisante formule, mais elle est un peu spécieuse, et elle omet de rappeler qu'il faut un charbon de qualité et de prix, pour obtenir ce résultat.

Pour les puissances considérables, le moteur à gaz pauvre retrouve la concurrence de la machine à vapeur surchauffée et des machines demi-fixes, du type Wolff, qui ne consomment que 595 grammes d'un charbon quelconque.

Mais le moteur à gaz de four à coke et de haut-fourneau de l'industrie sidérurgique reprend sa prééminence indiscutée. Voilà les vrais gazogènes pour puissance motrice, qui sont restés jusqu'à ce jour sans rivaux.

En chauffage, le gaz de gazogène, obtenu avec récupération de sous-produits de valeur, est lui aussi appelé à un grand avenir et l'on peut croire que, de ce côté-là, s'ouvre devant lui un vaste champ d'action.

CHAPITRE V

LE FONCTIONNEMENT DES GAZOGÈNES

I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES RENDEMENTS ET LES POUVOIRS

Le rendement d'un gazogène ne se définit pas d'un mot, et sans commentaire, même au point de vue uniquement thermique.

A priori, il se conçoit sans ambiguïté. On dépense dans une cuve appropriée du combustible, à l'effet de donner naissance à un gaz combustible ; or, avec un poids P de combustible possédant un pouvoir calorifique P, au kilogramme, on produit un volume V de gaz ayant un pouvoir égal à C calories, par mètre cube ; donc le rendement ρ de l'appareil est aisément calculable.

$$\text{Rendement} = \rho = \frac{\text{chaleur engendrée}}{\text{chaleur dépensée}} = \frac{\text{V.C}}{\text{P.}P}$$

C'est la définition habituelle.

Mais le produit VC représente-t-il vraiment toute la chaleur engendrée, à porter à l'actif du gazogène ?

Pas toujours, car le gaz qui sort du gazéificateur est à une température plus élevée que ne l'était l'air à son entrée et nous n'en tenons pas compte, alors que nous en profitons néanmoins. Il est par conséquent des cas dans lesquels il faudrait en faire état ; c'est lorsque les gaz sont pris chauds, au sortir des appareils, et utilisés tels quels, par exemple dans des fours adossés au gazofacteur, comme dans les installations Siemens. Si, au contraire, les gaz sont dépouillés de leur chaleur sensible,

avant emploi, et que celle-ci est reprise pour contribuer à la gazéification, soit pour chauffer de l'air, soit pour vaporiser de l'eau ou autrement encore, il n'y a pas à en tenir compte. Par contre, on fait tort au gazogène en ne chiffrant pas, d'une manière quelconque, la valeur thermique des sous-produits condensés (goudrons, benzols, etc.) et en ne l'additionnant pas au numérateur VC, car c'est une équivalence en calorique à ne pas négliger (1).

PP ne représente d'ailleurs non plus toute la chaleur dépensée, lorsqu'on accouple au générateur de gaz un générateur de vapeur, chauffé par du charbon, dont le poids P′ doit s'ajouter à celui du charbon gazéifié en lui attribuant le pouvoir P' qui lui revient. On a alors :

$$l = \frac{\mathrm{VC}}{\mathrm{P}P + \mathrm{P}'P'}$$

C'est la formule à appliquer au gazogène Dowson, à injecteur de vapeur et chaudière spéciale.

Quelques ingénieurs, trop amateurs des beaux rendements, ont parfois estimé les poids de charbon en poids nets, cendres déduites, en se couvrant de l'exemple donné quelquefois dans l'appréciation du rendement des chaudières ; cette manière de faire est injustifiée.

Une autre question a fait couler beaucoup d'encre ; comme j'ai été mêlé à ces discussions, je ne peux les passer sous silence. Je veux parler de la question des pouvoirs supérieur et inférieur.

Entendons-nous bien d'abord sur la valeur de ces termes, au risque d'une redite.

Ce qui est en jeu, c'est l'état physique sous lequel on envisage les produits de la combustion. Dans les volumineux traités de thermochimie, on prend soin d'indiquer avec soin les valeurs différentes qui caractérisent une réaction, suivant qu'elle aboutit à l'état solide, liquide ou gazeux ; les écarts sont considérables quand il se produit de l'eau. Ainsi, d'après Favre et Silbermann, un kilogramme d'hydrogène donnerait 34.462 ca-

---

(1) Au point de vue commercial, la valeur des produits ammoniacaux récupérés peut aussi devenir assez considérable.

lories, quand il brûle en eau condensée, et seulement 29.160 lorsque l'eau reste à l'état de vapeur (1). La différence dépasse 15 p. 100. Pour la plupart des autres réactions, la divergence des nombres est beaucoup moins accentuée, et l'on est pleinement autorisé à ne pas distinguer entre les cas. Mais pour la combustion des gaz, on ne peut manquer de spécifier les considérations auxquelles on donne la préférence ; si la distinction est presque inutile pour du gaz à l'air et du gaz de hauts-fourneaux, qui ne renferment que peu d'hydrogène et de carbures d'hydrogène, elle s'impose pour le gaz de ville, où les deux pouvoirs peuvent différer de 500 calories sur 5.300, soit de près de 10 p. 100.

Cela posé, quel pouvoir doit-on envisager ?

A mon avis, il faut prendre le pouvoir *vrai*, celui qui correspond à la réaction achevée à la température du milieu ambiant, c'est-à-dire le pouvoir supérieur (2). L'autre est un pouvoir réduit. Si l'on ne tire pas de la combustion tout le calorique qu'elle peut donner, c'est qu'elle est incomplète et se fait mal ; qu'on la fasse bien.

Mais il y a d'autres raisons plus décisives.

Et d'abord, les bombes aussi bien que les calorimètres donnent directement le pouvoir supérieur, puisque la vapeur se condense dans les deux genres d'opération ; dans les calorimètres à combustion du genre Hartley ou Junkers, on est contraint, pour arriver au pouvoir inférieur, de faire une correction dont on n'est jamais sûr et qui enlève à l'opération beaucoup de sa précision. Il faut recueillir l'eau qui ruisselle sur la paroi, et on ne sait pas s'il n'en reste pas qui soit maintenue par l'adhésion du liquide au métal. Si l'atmosphère est sèche, la vapeur ne se condense du reste pas en totalité ; en atmosphère saturée, il peut se produire des condensations supplémentaires, qui faussent entièrement les observations ; je l'ai constaté à maintes reprises.

---

(1) D'après Bunsen, il faudrait écrire 34.180 au lieu de 34.462. Berthelot admettait 34.600. Le chiffre classique de Favre et Silbermann serait donc un peu trop faible.

(2) Voir mon *Traité des Moteurs à gaz*, 4e édition, tome I, page 103.

D'autre part, n'est-il pas incorrect de décompter les chaleurs latentes de condensation dans les foyers, aussi bien que dans les moteurs, alors que nous les portons au passif des chaudières et des machines à vapeur ? En effet, on calcule les calories de la vapeur par la formule de Regnault (1) qui correspond à la condensation à zéro. Or, puisqu'on met en parallèle chaudières et gazogènes, machines à vapeur et moteurs à gaz, nous n'avons pas le droit de ne pas traiter de même les concurrents et de faire pencher de parti pris la balance d'un côté.

Un auteur généralement bien avisé (il se reconnaîtra peut-être dans ces lignes, s'il me fait l'honneur de me lire), après avoir semblé partager ma manière de voir, déclare, quelques pages plus loin, qu'il emploiera « sans hésiter » les pouvoirs inférieurs. Il a tort... de se contredire.

Les ingénieurs français sont généralement d'une manière de voir opposée : les Allemands au contraire en seraient pour les pouvoirs inférieurs. L'un d'eux a dit, paraît-il, qu'elle « ne sert qu'à tromper sciemment l'étranger ». C'est le contraire qui est vrai. Pour les gazogènes, où les pouvoirs du gaz et du combustible figurent au numérateur et au dénominateur de la fraction de rendement, le choix qu'on en fait est de peu de conséquence ; au contraire, pour les moteurs à gaz, l'emploi du pouvoir inférieur dans le calcul du rendement thermique a pour effet d'augmenter la valeur calculée du rendement. C'est par cet artifice que l'on a cherché à faire valoir au dehors la perfection de la construction allemande.

Il y a encore une autre divergence sur l'évaluation des pouvoirs, que l'on peut évaluer à pression constante ou bien à volume constant, mais cela a moins d'importance en gazogènes qu'en moteurs. La bombe donne le pouvoir à pression constante ; les calorimètres à combustion font connaître l'autre. On passe de l'un à l'autre par le calcul, la composition du gaz étant déterminée par une analyse exacte. L'écart est de 50 calories pour un gaz riche d'usine à gaz, mais il n'est que de 10 calories pour bien des gaz pauvres, ce qui justifie les ingénieurs qui le négligent.

---

(1) $L = 606{,}5 + 0.305t$.

II. — LE MEILLEUR FONCTIONNEMENT

Avant de procéder à une détermination de rendement, il est nécessaire de s'assurer le moyen de réaliser son meilleur fonctionnement. C'est une règle générale de conduite qu'il est superflu de justifier ; on ne compare que des appareils mis dans leurs meilleures conditions respectives.

En chaudières à vapeur, les vaporisations que l'on constate dépendent évidemment du système de générateur de vapeur et de son installation, ainsi que du combustible brûlé sur grille, mais le chauffeur y a une grande part. Dans nos concours de la Société Industrielle du Nord, nous constatons, toutes choses égales d'ailleurs, des différences de plus de 15 p. 100 entre les résultats obtenus par les divers concurrents ; au grand concours de Liége, le rendement individuel varia de 33 p. 100 par le seul savoir-faire de l'ouvrier.

Disons tout de suite qu'il n'en est pas de même en gazogène, et c'est peut-être un des plus grands avantages de ce genre d'appareils thermiques de n'exiger de son conducteur que du zèle et de l'attention réfléchie, sans être aussi entièrement tributaire de son talent de spécialiste.

De quoi se compose en somme le gouvernement du feu d'un gazéificateur ? On charge le feu, on veille à la descente régulière du combustible, et l'on règle la quantité d'air et de vapeur admise au foyer.

Le chargement s'effectue par une trémie : on verse le charbon à l'aide d'un seau. Il est avantageux d'employer un combustible sec, concassé en morceaux de 10 à 30 millimètres ; un tamisage préalable élimine les poussières et l'on manipule le produit avec une pelle à grille.

L'intervalle des chargements varie avec les types d'appareils, de une heure à six heures ; les courts intervalles entraînent un surcroît de main-d'œuvre ; les intervalles plus longs peuvent provoquer des perturbations dans la qualité du gaz. On charge chaque fois à refus, c'est-à-dire que le niveau dans la cuve ne doit pas descendre au dessous du fond de la trémie. L'ouvrier

a soin de fermer le couvercle avant de manœuvrer le dispositif de fermeture inférieur.

Des regards permettent de s'assurer qu'il ne se forme ni accrochage, ni voûte : au besoin, on la brise à coups de ringard. Un décrassage intelligent assurera toujours un passage facile de l'air et maintiendra à la hauteur voulue la zone d'incandescence ; celle-ci ne doit jamais atteindre le sommet. Pour n'avoir pas à ouvrir les portes en marche, celles-ci sont munies d'orifices spéciaux à fermeture par obturateur.

Le dosage de la vapeur d'eau est ce qu'on demande de plus difficile au conducteur.

Rappelons d'abord quelques considérations d'un caractère semi-théorique et semi-pratique, pour bien connaître le problème à résoudre et préciser les indications qu'il faut donner au conducteur pour sa gouverne. J'ai présenté sur ce sujet une étude spéciale au Congrès de Liége, à laquelle on me permettra de me référer de nouveau.

L'influence de l'allure plus ou moins chaude, laquelle dépend surtout de la quantité de vapeur d'eau injectée, est indéniable, mais elle ne ressort guère que de la comparaison de cas extrêmes, tels que les suivants :

Marche au coke, d'après M. Lencauchez.

	Gazogène soufflé à sec		Gazogène soufflé avec excès de vapeur d'eau	
H	2,10	29,60	26,55	45,10
CO	27,30		18,29	
CH^4	0,15		0,20	
C^2H^4	0,05		0,06	
O.....	0	70,40	0	54,90
CO^2	3,50		1,35	
Az	66,90		43,55	
Pouvoir du gaz..	902 calories.		1270 calories.	

D'après M. Lecomte.

EAU PAR KILOGRAMME de coke		240 gr. d'eau		350 gr. d'eau		490 gr. d'eau	
Composition en volumes	H	5,5	31,5	11	35,0	15	38
	CO ...	26,0		24		23	
	CO^2 ..	3,5	68,5	6	65,0	11	62
	Az ...	65,0		59		51	
Pouvoir du gaz		1.641 calories		1.091 calories		1.185 calories	

Il est regrettable que M. Lecomte n'ait pas déterminé le rendement du gazogène dans ces trois cas.

M. Bunte (1) a procédé à des expériences suivies, dans lesquelles il a fait croître la quantité d'eau servie au gazogène, en vue d'en reconnaître les effets ; les résultats qu'il a obtenus sont pleins d'intérêt.

QUANTITÉ D'EAU pr kilogramme de coke	COMPOSITION DU GAZ				CALORIES du gaz produit	RENDEMENT p. 100 (2)
	H	CO	CO^2	Az		
0	3,3	24,2	4,6	67,9	5.263	71
0,51	9,1	17,6	7,0	64,3	5.334	72
0,66	12,2	19,3	8,3	60,2	6.001	81
0,71	12,9	18,4	9,0	59,7	5.800	79
0,75	14,0	14,6	13,2	58,2	5.347	72
0,86	15,8	12,0	12,0	60,2	5.944	80
0,92	16,3	11,7	14,8	57,2	5.413	73

Le double maximum présenté par le rendement pour 0 kgr. 66 et 0 kgr. 86 est assez déconcertant, ainsi que la chute rapide correspondant à 0 kgr. 92 ; ces essais sembleraient donc dé-

(1) *Journal für Gasbeleuchtung*, 1878-79.
(2) Nous supposons toujours que les gaz sont entièrement *refroidis*.

montrer que la dose de un kilogramme de vapeur pour un kilogramme de coke est excessive. Et pourtant, M. Meyer a obtenu d'excellents résultats à Bâle en servant un kilogramme, et à Cassel j'ai moi-même pu monter à 1 kgr. 350 avec du charbon maigre d'Anzin sans constater aucun inconvénient ; dans les appareils Mond, à récupération des sous-produits ammoniacaux, la proportion de vapeur d'eau est plus grande encore, même avec des combustibles riches en matières volatiles. Le degré de surchauffe de la vapeur injectée, la température de l'air insufflé et sa quantité viennent conjurer le refroidissement d'allure auquel on est exposé dans la fabrication du gaz mixte ; il faut considérer, de plus, qu'une fraction seulement de la vapeur injectée est dissociée.

Souvent les procès-verbaux d'essais indiquent le poids de coke brûlé sur la grille de la chaudière par rapport au kilogramme de combustible gazéifié dans le producteur. Pour les appareils du genre Dowson, alimentés d'anthracite anglais, la proportion varie de 2 à 5 p. 100 en général (1), mais elle atteint souvent 10 et même 15 p. 100 ; ainsi, dans les relevés mensuels des établissements d'Embrach (Thonwaaren Fabrik), je relève sur des gazogènes donnant d'excellents résultats 2.446 kilogrammes brûlés dans les chaudières pour 16.191 consommés dans les cuves des producteurs : cela fait 15 p. 100 environ. De ces divers chiffres, on peut déduire approximativement le quantum de vapeur mis en œuvre pour la gazéification ; il varie dans d'énormes proportions.

Voici d'ailleurs le résultat d'expériences que j'ai poursuivies plusieurs jours de suite, en vue d'estimer l'influence qu'exerce sur le rendement la quantité d'air et d'eau injectée, les autres conditions de l'opération restant aussi constantes que possible.

Le rendement a été un peu moindre dans la deuxième journée, alors que la proportion de vapeur et d'air a diminué ; le gaz est devenu plus riche, mais il s'en est moins produit ; c'est ce que l'on observe bien souvent.

---

(1) Communication de M. Robinson dans *Institution of Mining Engineers*, mai 1898.

	Première journée	Deuxième journée
Consommation de charbon au gazogène (kgr.)	186	204
Consommation d'eau à la chaudière (kgr.)	206	174
Vapeur d'eau. Combustible	1,1	0,85
Volume de gaz produit par kgr. de combustible (litres)	4.820	4.371
Pouvoir calorifique supérieur du gaz (calories)	1.208	1,283
Calories du gaz par kilogramme de charbon	5.825	5.610
Teneur pour cent du gaz en hydrogène	20,7	20,2
Teneur pour cent du gaz en oxyde de carbone	16,7	22,0

Les chiffres ci-dessus prouvent qu'il faut se garder de certaines conclusions trop théoriques et forcément incomplètes, relatives à l'effet de l'injection de la vapeur d'eau dans la cuve du gazogène. De trop nombreux facteurs interviennent dans les réactions pour qu'on puisse formuler des lois générales : tout au plus un ingénieur avisé donnera-t-il des conseils dans certains cas particuliers.

Au point de vue tout à fait pratique, on a constaté depuis longtemps que l'allure froide donne des dépôts goudronneux dans les conduites alors que l'allure chaude ne fournit que des suies ; que l'allure froide ménage les grilles et les parois réfractaires, alors que l'allure chaude les use rapidement ; qu'il y a moins de pertes de calorique en allure froide, que cette allure empêche la formation des mâchefers pâteux et adhérents. La nature des scories produites dans le gazogène constitue le meilleur critérium du conducteur de l'appareil ; suivant l'allure on obtient des mâchefers fondus ou bien des cendres plus ou moins pulvérulentes.

La dissociation de l'eau augmente le volume relatif de l'hydrogène et diminue celui de l'oxyde de carbone ; quant à l'anhydride carbonique, sa proportion croît aussi. L'hydrogène peut dans certains cas atteindre 30 p. 100 du volume total.

Quelles conclusions pratiques allons-nous tirer de ce qui précède ?

Il ne faut pas chercher à formuler de règles précises relativement au dosage de l'eau, car les phénomènes sont extrêmement complexes et ils dépendent beaucoup de la qualité du combustible ; mais on peut dire au conducteur qu'il donne trop d'eau lorsque son foyer semble se refroidir et que *le feu monte* dans la cuve ; il y a un autre critérium, pour ainsi dire infaillible, dans la nature des scories, qui s'accrochent aux parois réfractaires. On peut dire d'autre part que l'air est trop sec, lorsque les scories deviennent lourdes et dures. Il y a un juste milieu à tenir, et celui-ci est marqué par une scorie spongieuse, peu dense, facile à briser. J'ai toujours donné aux conducteurs la consigne qui suit : « Cherchez à obtenir les décrassages les plus faciles » ; ils m'ont compris d'autant mieux et obéi plus scrupuleusement que je diminuais leur travail, en leur donnant le moyen d'obtenir le meilleur rendement, ce dont ils se rendaient du reste compte par eux-mêmes.

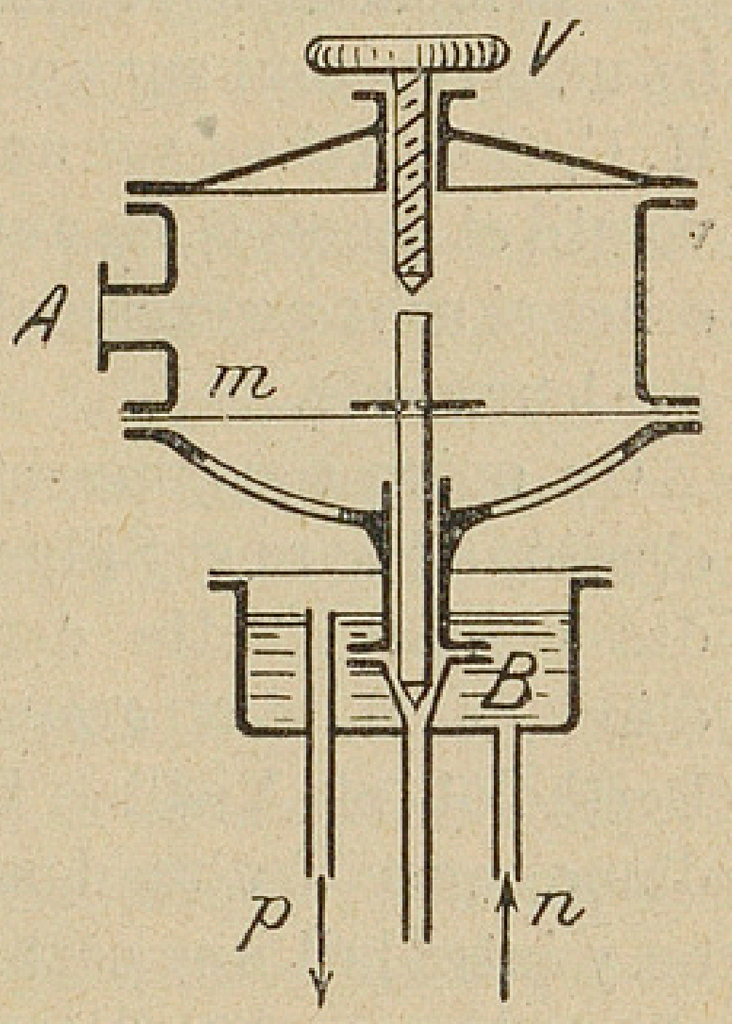


Fig. 4. — Doseur de la Société de Winterthur.

On a essayé de fournir au conducteur des points de repère et des indicateurs lui permettant de diriger son travail : tel est le régulateur thermométrique de M. Deschamps, qui fait commander la vaporisation de l'eau par le rayonnement de la cuve ; tel encore le doseur de la société de Winterthur, représenté sur la figure 4. Cet ingénieux appareil est composé d'une cuvette contenant de l'eau, surmontée d'une boîte cylindrique fermée : celle-ci est fermée par un diaphragme élastique *m*, et elle communique par A avec l'aspirateur de gaz. Le vide relatif qui tend à s'y établir soulève le diaphragme et un pointeau B laisse passer une certaine quantité d'eau, qui va au vaporisateur. Une vis V limite l'amplitude des mouvements du diaphragme, L'eau de la cuvette est renouvelée par le tuyau d'adduction *n* ; *p* est un

trop plein d'évacuation. Cet appareil remplit bien la fonction qui lui est assignée.

III. — MESURES DES POUVOIRS CALORIFIQUES DES COMBUSTIBLES SOLIDES ET GAZEUX

La mesure des pouvoirs des combustibles solides et gazeux est la base des déterminations de rendement des producteurs de gaz ; nous traiterons cette double question avec tout le soin qu'elle mérite.

1. **Combustibles solides.** — Les méthodes sont nombreuses : les unes reposent sur une analyse *élémentaire* (détermination de H, C, O et Az) ou sur une analyse *immédiate* (carbone fixe et volatil et cendres), les autres sur des opérations calorimétriques ; celles-ci sont assurément les meilleures et nous commencerons par leur étude.

On opère sous pression constante en calorimètre du genre classique Favre et Silbermann ou sous volume constant, dans des bombes : cette dernière manière de faire jouit aujourd'hui de la plus grande faveur. Elle a été instituée par Berthelot et Vieille. Elle nécessite l'emploi d'une bombe d'une capacité d'un demi-litre, immergée dans un bain d'eau : on y introduit une cartouche renfermant le charbon à essayer et on la remplit d'oxygène, sous une pression de 25 atmosphères. La mise de feu est effectuée par un fil de platine, chauffé au rouge par un courant électrique. La combustion est instantanée et complète. En opérant certaines corrections on obtient des résultats d'une exactitude rigoureuse.

Cette bombe, qui était en platine, coûtait extrêmement cher ; M. Mahler fit usage d'une bombe d'acier, de 654 centimètres cubes, présentant une épaisseur de paroi de 8 millimètres, émaillée à l'intérieur. Le procédé opératoire est encore celui de Berthelot. Un gramme de combustible renfermé dans une capsule est placé dans la bombe, qu'on remplit ensuite d'oxygène sous une vingtaine d'atmosphères de pression ; on allume par une spirale rougie par le courant. On observe la température de l'eau du calorimètre de 30 en 30 secondes jusqu'à ce que la température baisse : on note le maximum. Les formules habituelles de la calorimétrie donnent la chaleur

développée par la combustion d'un gramme. Il y a une correction à faire relativement à l'acide azotique formé, dont on détermine la quantité à l'aide d'une dissolution titrée de potasse. Ce procédé, universellement et presqu'uniquement employé en France, donne d'excellents résultats et on ne peut lui faire qu'un seul reproche, c'est de n'opérer que sur un gramme de substance. Or, ce gramme doit représenter la moyenne *exacte* d'une tonne au moins de combustible. On s'efforce de faire cette moyenne en multipliant les prises d'échantillon dans la masse et en les pulvérisant complètement, afin d'en effectuer un parfait mélange : c'est un grand travail, qui ne peut conduire au résultat poursuivi que s'il est fait avec un soin et une conscience extraordinaires.

Il ne manque pas d'établissements dans lesquels on détermine dans des conditions intéressantes la détermination du pouvoir d'un charbon, et notamment le Conservatoire national des Arts et Métiers de Paris a organisé un service qui fonctionne très bien : il suffit de lui envoyer l'échantillon moyen que l'on a prélevé.

Mais, je le répète, c'est dans la préparation de cet échantillon moyen que gît toute la difficulté. Les laboratoires auxquels on s'adresse disposent de moyens scientifiques, leur permettant de garantir leurs résultats à *un* pour 100, alors que l'on n'oserait pas affirmer que la poudre qu'on soumet à leur appréciation représente le combustible utilisé à *cinq* p. 100 près.

Il en résulte que les appareils, ne mettant en œuvre qu'un gramme au plus de matière combustible, prêtent le flanc à une critique extrêmement fondée, à laquelle ma longue pratique d'ingénieur et de physicien m'a amené à donner la plus grande importance. Scheurer-Kestner partageait mes vues à cet égard et il estimait que des instruments, qui permettaient de traiter à la fois plusieurs grammes, présentaient d'incontestables avantages. C'est l'argument à faire valoir en faveur des calorimètres à combustion progressive.

Le calorimètre de Favre et Silbermann est bien démodé, il est vrai ; c'est à lui que sont dues pourtant les premières mesures de la thermochimie et elles n'étaient pas inexactes. La chambre de combustion était en cuivre doré ; elle se prolongeait par un

long serpentin, par lequel s'échappaient les gaz brûlés en se refroidissant complètement. Scheurer-Kestner et Meunier-Dollfus en ont amélioré quelque peu les dispositions: la plus grande difficulté consiste à réaliser une combustion entière, sans qu'il reste du coke dans les cendres; de plus, on peut toujours craindre qu'il s'échappe avec les fumées des hydrocarbures mal brûlés. Par contre, le procédé donne directement la teneur en cendres du produit essayé.

Berthelot s'est aussi servi d'un calorimètre analogue à celui des professeurs de Marseille, mais la chambre était en verre soufflé : Alexejeff a adopté la même forme ; Fischer construisait la chambre de combustion en argent. Le célèbre thermochimiste danois Thomsen opérait de même en calorimètre, mais il vaporisait généralement les produits. Enfin, Schwackhoefer et lord Kelvin ont aussi fait emploi du calorimètre, ainsi que Dorling, Parr, Chapmann et d'autres, auxquels je demande à joindre mon nom. J'ai effectué de nombreuses déterminations de pouvoirs de charbons industriels à l'aide d'un instrument dont je n'ai point publié la description, dans lequel les gaz brûlés barbotaient dans l'eau du bain entourant la chambre de combustion. J'opérais sur cinq grammes en général, dans un courant d'oxygène pur. Les chiffres que j'obtenais, rapprochés de ceux que donnaient la bombe Mahler, témoignaient d'une exactitude très largement suffisante dans l'espèce, au point de vue strict de l'opération, et me donnaient la confiance d'être au moins aussi près de la vérité, puisque ma prise d'échantillon était certainement moins aléatoire. Mon calorimètre jouissait d'autre part de l'avantage de ne pas être coûteux : l'oxygène qu'il lui fallait était acheté (avant la guerre) à des prix très abordables et livré sous pression en tubes. Il fallait se défier du refroidissement produit par la détente du gaz.

Les procédés qui reposent sur des analyses élémentaires ne sont plus guère employés. On se servait de la formule connue de Dulong :

$$P = \text{pouvoir calorifique} = 8.080\ \text{C} + 34.462\ (\text{H} - \frac{\text{O}}{8}).$$

Il est bien préférable de recourir à une analyse immédiate, donnant les proportions relatives d'humidité et de cendres

pour commencer, et ensuite celles de carbone fixe et de matières volatiles, en poids.

Cette méthode m'a rendu tant de services que je crois devoir entrer dans le détail de son application.

Il faut débuter par constituer un échantillon de plusieurs grammes, puis le sécher ; à cet effet, on introduit la matière pulvérisée dans une capsule plate en platine, et on la maintient une heure au moins dans un courant d'air, ayant au moins 100°, mais pas plus, de crainte de produire une distillation des carbures volatils ; on laisse refroidir dans l'air sec. L'eau hygroscopique se mesure par une différence de pesées.

La gazéification qui suivra sera pratiquée en creuset de platine bien clos, chauffé au rouge vif sur un brûleur Bunsen ou un bec Meker en flamme réductrice, enveloppant entièrement le creuset. Je donnais la préférence à un couvercle à cheminée, qui permettait d'observer le départ des gaz et de suivre la marche de l'opération. Puis, refroidissement en dessiccateur et pesée.

Il reste dans le creuset du carbone fixe (du coke) et des cendres ; il faut passer à l'incinération qui présente le plus de difficulté. On peut opérer sur une dizaine de grammes de ce coke. Si l'on veut être sûr du résultat, un gramme ne suffit pas, comme on le dit souvent. On emploiera maintenant un creuset très plat, entièrement découvert, qu'on chauffera progressivement pour éviter toute projection, dans un moufle porté au blanc. On verra longtemps des points noirs persister sur la cendre qui se forme ; ces petits points noirs, c'est du coke qui se refuse à brûler. On remuera à la spatule de platine, avec précaution ; on arrosera au besoin de quelques gouttes d'alcool et d'un peu de solution d'azotate d'ammoniaque. Le travail est quelque fois plus long qu'on ne s'y attendait. Il est aisé de le conduire à bon terme, si on a quelque habileté et de la patience (1).

---

(1) Il est quelquefois d'un grand intérêt scientifique et pratique de recueillir et de connaître la nature des produits volatils ; on emploiera à cet effet avec succès l'appareil Arduin, construit par la Compagnie des Compteurs à gaz, qui permet de condenser et de recueillir à part les gaz, les goudrons et tous les produits volatils.

Voilà comment on arrive à connaître la teneur en humidité, en cendres, en carbone volatil et en carbone fixe, d'un charbon ; il est facile maintenant de calculer le pouvoir correspondant en charbon sec et pur. J'emploie de préférence la formule de Goutal.

Soit C la proportion de coke fixe (cendres déduites) et A celle des matières volatiles.

$$P = 8{,}150\ C + KA.$$

K est un coefficient de valeur variable avec le pourcentage de produits volatils.

A	K
5 p. 100	14.500
10 —	13.000
15 —	11.700
20 —	10.900
25 —	10.300
30 —	9.800
35 —	9.400

Cette formule donne des résultats très satisfaisants, auxquels je n'hésite pas à accorder la même valeur qu'à ceux de la bombe Mahler, étant donnée la masse plus grande des échantillons mis en essai. Il en résulterait que le plus grand pouvoir correspondrait à une teneur de 25 p. 100 en matières volatiles et serait égal à 8.750 calories : or, Scheurer-Kestner a trouvé des pouvoirs de 9.000, voire même de 9.200 calories, pour une houille d'Anzin (Fosse Lambrecht). Il y aurait donc lieu peut-être de modifier un peu le coefficient K de Goutal (1).

---

(1) Mon distingué collègue de la Faculté libre des Sciences de Lille, M. Lenoble, a proposé de remplacer la formule de Goutal par celle-ci : $P = 82C + aV$, dans laquelle C représente le pourcentage de coke sans cendres, et V celui des matières volatiles sans humidité; a est un paramètre qui se déduit de la proportion V' des matières volatiles du charbon pur ; $V' = \frac{100\ V}{V + C}$ On a dès lors :

Pour V' =	145	130	117	109	103	98	94	85	80
a =	5	10	15	20	25	30	35	38	40

2. **Combustibles gazeux.** — L'analyse d'un gaz combustible permet de calculer fort correctement son pouvoir calorifique supérieur ou inférieur, à volume constant ou sous pression constante, d'après les données de la thermochimie.

Une analyse de gaz n'est pas une opération qui soit à la portée de tous et nous laisserons aux traités spéciaux le soin de traiter la question à fond ; mais on nous reprocherait de n'en rien dire. Nous nous bornerons à signaler les points essentiels du problème.

Un gaz de gazogène peut renfermer CO^2, O et Az (gaz inertes) et CO, H, CH^4 et C^2H^4 (éléments combustibles).

Les gaz suivants sont absorbables :

CO^2 par une lessive de potasse.

O par une dissolution de pyrogallate alcalin.

CO par une dissolution de chlorure cuivreux acide.

C^2H^4 par l'acide sulfurique fumant.

Ces absorptions doivent être faites avec soin et surtout avec lenteur : M. Vivian Lewes a démontré que, pour un gaz riche de houille, il faut qu'une agitation dure quinze minutes pour être efficace ; avec un gaz pauvre dans lequel les gaz absorbables sont fortement dilués, il faut encore plus de temps. De plus, les dissolutions doivent être fraîches. Notons enfin que le chlorure cuivreux absorbe aussi de l'oxygène, de sorte que l'absorption de CO suivra nécessairement celle de O ; de plus, il est à conseiller de faire passer le gaz qui reste après l'absorption de CO dans une dissolution alcaline, afin de retenir ce qu'il peut y avoir de HCl.

Les quatre gaz étant absorbés, il reste un mélange de H, CH^4 et Az.

On les introduit dans un eudiomètre avec une quantité déterminée d'air (1) et l'on y fait jaillir une étincelle ; il se forme CO^2 et H^2O ; cette eau se condense et donne lieu à une diminution de volume. En passant le résidu à la potasse, on retient CO^2 et il ne reste finalement que l'oxygène, mêlé en excès, et l'azote.

---

(1) Avec les gaz de gazogènes, je préfère employer de l'oxygène pur ; il renferme parfois des traces d'hydrogène, sans conséquence pour le cas présent.

Mais on sait quel volume d'azote renfermait l'air additionné au mélange ; on le retranche et l'on détermine ainsi le volume d'Az que renfermait le gaz.

Un calcul simple va donner H et CH^4.

Appelons a la quantité d'oxygène ajouté pour opérer la combustion ; b la contraction consécutive à l'explosion ; c la quantité de CO^2 formée dans cette explosion.

On peut écrire :

$$H = b - a$$

$$CH^4 = a - \frac{1}{2}(b + c)$$

La composition en volume du gaz ressort de ce qui précède.

Avant de dire comment nous ferons usage de ces chiffres, mentionnons les appareils construits en vue de faciliter les observations de volumes, après les diverses réactions que nous venons de décrire. Le plus connu chez nous est celui d'Orsat ; c'est peut-être le plus simple sans être le plus mauvais. Quand on le remplit de mercure, il donne des résultats plus exacts. En Angleterre, on emploie l'appareil de Stead, en Allemagne, celui d'Hempel. Ils se ressemblent tous et se composent uniformément de flacons absorbants, d'un tube jaugeur et d'un vase dont les mouvements verticaux produisent les transvasements des gaz d'un flacon à l'autre. Quand on opère posément, en donnant aux réactions le temps de se parfaire, on peut ajouter foi aux chiffres relevés et procéder en toute confiance au calcul des pouvoirs. Voici les chiffres théoriques sur lesquels ils reposent.

Calories dégagées par combustion d'un litre.

	H	CO	CH^4	C^2H^4
	—	—	—	—
Pouvoir supérieur (vapeur condensée)	3,10	3,07	9,75	15,65
Pouvoir inférieur (vapeur non condensée).	2,62	3,07	9,60	14,67

Une application numérique, faite à quelques gaz, précisera les idées sur l'emploi de ces données ; elle nous fera connaître d'ailleurs la différence qui sépare les deux pouvoirs supérieur et inférieur ; par aucune autre voie on ne l'établit aussi correctement.

COMPOSITION DES GAZ (Eléments combustibles)	NATURE DES GAZ											
	HAUTS FOURNEAUX			FOURS A COKE			GAZ MIXTE			GAZ A L'AIR		
	%	P. S.	P. I.	%	P. S.	P. I.	%	P. S.	P. I	%	P. S.	P. I.
H	2	62,0	52,0	54	1.674	1.415	16.5	51,1	63,2	4	124,0	104,8
CO	29	890,0	890,0	6	184	184	25,4	78,0	78,0	24	736,8	736,8
CH^4	1,2	11,7	11,5	24	2.340	2.306	1,0	97	96	2	195,0	192,2
C^2H^4	0	0	0	2	313	293	0,5	8	7	1	156,5	146,7
Pouvoir supérieur .		963,7			4.511			1.396			1212,3	
Pouvoir inférieur .			953,5			4.198			1.315			1180,5
Différence.....		10,2			313			84			31,8	

On voit qu'il n'y a vraiment guère lieu de distinguer entre les pouvoirs, pour les gaz Siemens et les gaz de hauts-fourneaux. Il nous a paru intéressant de le faire constater en passant.

En l'absence d'une analyse bien faite, on recourt au calorimètre : ceux de Favre et Silbermann, de Thomsen et de Berthelot peuvent être employés à cet effet. Le premier a été repris et perfectionné par Hartley et Junkers ; la bombe de Berthelot a servi de type à l'appareil que j'ai employé. Les appareils à combustion du premier genre peuvent être installés à côté des engins producteurs et consommateurs ; c'est leur avantage et aussi leur inconvénient, car on ne conçoit guère autrement leur disposition. Les appareils à explosion sont des instruments de laboratoire ; je prélève des échantillons de gaz dans des flacons bien clos et j'opère dans l'Institut de physique de la Faculté libre des Sciences de Lille, où j'ai procédé certainement à plus de mille déterminations de pouvoirs. Les appareils à combustion donnent le pouvoir sous pression constante, pouvoir supérieur, d'où l'on peut déduire tant bien que mal le pouvoir inférieur ; les bombes ne fournissent que le pouvoir supérieur sous volume constant.

Le calorimètre Hartley, alimenté de gaz par l'intermédiaire d'un compteur, le brûle dans un bec du genre Bunsen, entouré d'un récipient cylindrique en cuivre, rempli d'eau incessamment renouvelée ; on règle l'écoulement du liquide de manière à donner lieu à une augmentation régulière de température, qu'on rapporte au temps et au volume du débit.

M. Junkers a perfectionné quelques détails de l'opération. Son calorimètre est tubulaire ; l'eau afflue par un petit réservoir de trop plein, donc sous pression invariable, et s'échappe dans un vase qui permet d'en jauger le volume ou d'en faire le poids. Des thermomètres très sensibles mesurent les températures d'entrée et de sortie du liquide ; en même temps, on observe la quantité de gaz qui traverse le compteur, dans l'intervalle de temps d'une minute, en notant sa température et sa pression. La chaleur de combustion par mètre cube s'obtient en multipliant le poids d'eau écoulé dans une minute par la différence des deux températures finale et initiale, et en divisant par le volume de gaz débité.

Scheurer-Kestner donne un exemple du calcul à faire (1).

Poids d'eau écoulé par minute : 902 gr. 33.
Volume de gaz : 2.500 centimètres cubes.
Température finale : 27° 5.
Température initiale : 13°1.
Différence + 14°4.

$$\text{Pouvoir supérieur} = \frac{902{,}33 \times 14°4}{2{,}5} = 5.196 \text{ calories.}$$

Scheurer-Kestner fait craindre deux causes d'erreur. « Il n'est pas certain, dit-il, que la combustion du gaz dans le brûleur Bunsen se fasse d'une manière intégrale, et les indications des compteurs à gaz ne sont pas toujours très sûres ». Mais il cite des expériences de M. Stohmann faites sur l'hydrogène, qui ont fait constater une différence d'un centième au plus ; ce résultat remarquable peut en effet être obtenu avec des gaz riches, tels que le gaz de ville et le gaz de four à coke. Mais il n'en est plus de même pour les gaz très pauvres, dans lesquels les éléments combustibles sont noyés dans un grand excès de gaz inertes CO^2 et Az : dans ce cas, les chiffres que l'on relève peuvent présenter beaucoup moins de rigueur. Letombe s'est montré entièrement d'accord avec moi dans cette appréciation (2).

C'est pour ce motif que j'ai construit ma bombe, que j'ai dénommée *bombe eudiométrique*, parce qu'elle rappelle la forme de l'eudiomètre ; elle me permet d'en faire le remplissage sur la cuve à mercure, et dispense de toute pompe et de tout manomètre, puisque le mélange gazeux est effectué sous la pression de l'atmosphère, mesurée au baromètre du laboratoire, avec une précision d'au moins un dixième de millimètre.

La figure 5 représente ma bombe avec tous ses détails d'exécution (3).

---

(1) Scheurer-Kestner. *Pouvoir calorifique des combustibles solides, liquides et gazeux* (Paris, Masson, 1896), page 156.

(2) Letombe. *Les Moteurs* (Paris, J.-B. Baillière et fils, 1909), page 204.

(3) J'ai décrit mon procédé dans les *Annales de chimie et de Physique*, 6e série, tome VI, octobre 1885.

Elle est constituée par un cylindre d'acier de près de 80 millimètres de diamètre sur 2 millimètres d'épaisseur ; sa hauteur est égale à son diamètre, ce qui lui donne une contenance d'en-

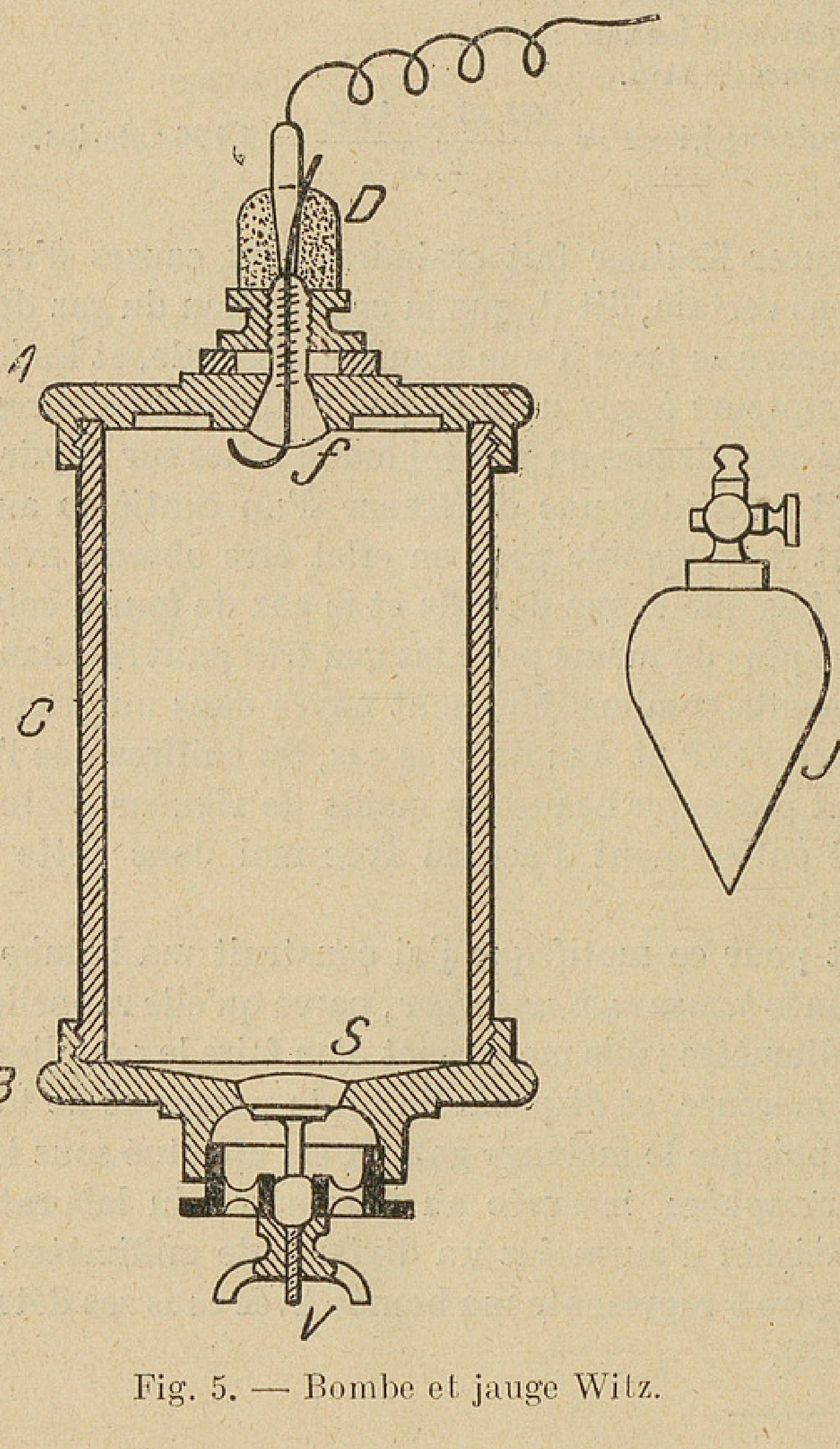


Fig. 5. — Bombe et jauge Witz.

viron 400 centimètres cubes. Deux couvercles sont vissés sur le cylindre et en effectuent la fermeture hermétique, par simple interposition d'un papier huilé. Le couvercle supérieur porte l'excitateur d'étincelles *F* ; l'autre couvercle est muni d'une soupape autoclave S, qui débouche dans un aju-

tage cylindrique de 27 millimètres de diamètre. Ce couvercle présente une déclivité conique de la circonférence au centre, facilitant l'écoulement complet des liquides par l'ouverture centrale. Toutes les surfaces sont nickelées ; les poids de l'acier ont été relevés avec le plus grand soin, de manière à permettre l'évaluation par le calcul du poids en eau de l'appareil.

Cette bombe étant entièrement remplie de mercure, sans aucune bulle d'air, est renversée sur la cuve à mercure, à la façon d'une éprouvette ; le mélange tonnant y est introduit en le transvasant d'une cloche dans laquelle il a été préparé à l'avance, par l'intermédiaire d'un tube de caoutchouc ; le gaz passe, grâce à un excès de pression déterminé, dans la cloche. La forme conique du fond permet à la bombe de se vider complètement et de se remplir de gaz tonnant à une pression légèrement supérieure à celle de l'atmosphère ; on rétablit l'équilibre en desserrant un peu la vis V, pendant un instant très court, de manière à livrer issue à l'excès de gaz ; il faut que cette opération se fasse en tenant la bombe dans la position de la figure. On lit au baromètre la pression atmosphérique et l'on prend pour température du gaz celle de la cuve à mercure, qui doit être celle de l'air ambiant. J'insiste sur cette condition.

Le mélange tonnant est préparé sur la cuve à eau en se servant de l'ampoule de verre J. Cette jauge, fermée par un robinet à la partie supérieure, se termine en bas par un bout effilé ; le gaz ou l'air, dont on mesure le volume, arrive par le haut, à travers un tuyau de caoutchouc et il se substitue lentement à l'eau, qui s'écoule par la pointe. Mes ampoules jaugent de 200 à 500 centimètres cubes et l'erreur commise à chaque remplissage est inférieure à 15 millimètres cubes. Si l'on mêle sept ampoules d'air à une ampoule de gaz, on a un mélange tonnant au $\frac{1}{8}$; c'est la proportion que j'emploie habituellement pour le gaz de ville ; pour les gaz pauvres, je forme de préférence un mélange de un pour un, mais j'additionne généralement l'air d'un tiers d'oxygène pour assurer une combustion plus complète. L'oxygène pur donnerait une explosion trop vive.

La bombe étant chargée, je l'introduis dans un calorimètre renfermant près d'un litre d'eau, de manière à l'y noyer jus-

qu'au niveau du mamelon D, puis je fais jaillir l'étincelle ; l'explosion a lieu sans bruit, la température s'élève d'une quantité d, et il est aisé d'en déduire la quantité de chaleur dégagée par les calculs ordinaires de la calorimétrie, dont je vais donner un exemple. Il y a peu de corrections à faire, si l'on travaille dans un laboratoire à température uniforme et constante, dans lequel les instruments ont séjourné longuement à l'avance ; toutefois je ne me dispense pas d'une observation du thermomètre pendant trois minutes à l'avance et un même laps de temps après. Qu'on me dispense d'entrer dans plus de détails. Chaque division de mon thermomètre équivaut à 0°01502 ; je l'observe au viseur, à distance, et en divisant à l'œil chaque intervalle des traits au dixième, j'apprécie le millième et demi de degré.

Suite des calculs à faire

Mélange de 1 gaz de ville + 6 air

Poids d'eau du calorimètre en grammes.....	999,865
Poids en eau du calorimètre, de la bombe et de la portion immergée du thermomètre.....	120,994
Poids total d'eau	1.120,859
Elévation de température observée	0°1590
Correction à faire en plus	0°0037
Variation totale	0°1627
Température initiale du gaz	15°
Pression atmosphérique.....	776 mm. 2
Chaleur dégagée.....	0,1824 calorie .

Telle est la chaleur dégagée par la combustion d'un volume de gaz égal au $\frac{1}{7}$ du volume de la bombe, lequel est exactement à 15° de 0,2568 litre. La chaleur dégagée par un mètre cube de ce gaz, à 0° et 760 millimètres, est :

$$\frac{760}{776,2} \cdot \frac{1 + \alpha 15}{1} \cdot \frac{7 \times 1.000}{0,2568} \cdot 0,1824 = 5.136 \text{ calories.}$$

C'est évidemment le pouvoir supérieur de ce gaz, sous volume constant.

Il ne m'appartient pas de dire du bien de cet appareil que j'ai créé, à l'aide duquel j'ai fait un nombre considérable de déterminations. En comparant mes chiffres avec ceux que fournissait une analyse exacte, j'ai toujours trouvé une concordance très satisfaisante. En particulier, les aciéries de Longwy m'ont confié un grand nombre de mesures du pouvoir des gaz de leurs hauts-fourneaux ; mes pouvoirs ont été confirmés par les résultats obtenus au laboratoire de chimie de l'établissement. Mais, voici un autre fait, que l'on me permettra de signaler et que Letombe à rapporté dans son livre sur les Moteurs. Nous avions procédé à des essais de réception aux Ateliers de construction du Thiriau, près de La Croyère, en Belgique, avec le concours de M. Eugène François, ingénieur-expert à Bruxelles. Le gaz obtenu par le traitement d'un combustible très cendreux donna la composition qui suit à l'analyse :

Éléments	Composition en volume %	Composition en litres par m. c.
H.....	3,9	37
CO.....	29,5	295
CH^4	1,7	17
CO^2	2	0
Az + O	65,1	651
	100,0	1000

Le pouvoir supérieur fut trouvé égal à 1.195 par ma bombe ; le calcul donna 1.170 ; différence de 2,2 p. 100 en plus par l'opération directe. On était en droit de l'attribuer à quelques traces d'éthylène, qui avaient échappé à l'analyse.

IV. — MESURE DES CHALEURS DU COMBUSTIBLE SOLIDE ET GAZEUX

Commençons par le combustible solide que nous supposerons préalablement desséché, à l'étuve ou autrement.

Des prélèvements effectués sur la masse mise en œuvre,

suivis de broyages et de mélanges, selon la méthode classique, conduisent à la prise d'échantillon ; nous venons de voir comment on en détermine le pouvoir.

L'essai d'un gazogène doit être poursuivi un grand nombre d'heures, 8 à 10 heures au moins, pour permettre une conclusion ; on a parlé d'essais d'une demi-heure, qui ont fait sourire les gens compétents et en ont peut-être ébloui d'autres. La cuve du gazogène sera remplie à refus, après un décrassage du foyer, et l'expérience commencera aussitôt ; on la terminera en ramenant toutes choses à l'état initial, par un décrassage et un chargement, effectué dans les mêmes conditions qu'au départ.

Quelques ingénieurs ont consenti quelquefois à faire un décompte des cendres et des scories ; c'est vouloir se leurrer à plaisir, car cendres et scories n'ont pas de valeur. J'admets par contre qu'on les passe au crible dans le but d'en retirer les escarbilles non brûlées encore utilisables, qu'on rechargera dans la cuve avec du charbon frais ; cela est parfaitement logique, et l'on ne trompe personne, pas plus soi-même que les autres.

Le feu doit être maintenu autant que possible à la même allure, durant toute la journée, avec un débit constant du gaz, autant que faire se peut ; en feu dormant, les résultats pourraient être forts différents qu'en travail. Les chargements seront faits à intervalles réguliers, selon le vœu et les indications du constructeur, auquel on ne peut dénier le droit de disposer de son appareil dans les conditions qu'il estime les meilleures.

Il faut tenir compte de tout apport d'énergie sous forme calorifique ou autre. Précisons-les cas. Un gazogène Dowson, soufflé à la vapeur, nécessite l'adjonction à la cuve gazéificatrice d'un générateur de vapeur uniquement dévolu à ce service, ou bien fournissant subsidiairement de la vapeur au gazogène ; dans la première hypothèse, il faut peser avec soin tout le charbon spécial consommé dans le foyer auxiliaire ; dans la seconde, il sera indispensable de connaître le poids de vapeur fournie. Dans les installations habituelles, Dowson faisait usage d'une petite chaudière à foyer intérieur, munie d'un serpentin de surchauffe ; on y brûlait du coke mêlé des débris d'anthracite restés sur le carreau et des escarbilles retirées du

cendrier de la cuve. Dans d'autres circonstances, l'ingénieur anglais chauffait sa chaudière au gaz pauvre ; il n'y avait évidemment pas à en connaître la consommation, puisqu'elle était prise sur la production du gazofacteur. De même, on ne se préoccupera pas de la vapeur consommée, si elle est engendrée par une chaudière bénéficiant des chaleurs perdues, ainsi que cela se voit aujourd'hui. Pour permettre d'apprécier l'importance de cet adjuvant de la gazéification, je rappellerai que la consommation du foyer du générateur spécial peut atteindre le sixième (quelquefois le cinquième) de la dépense d'anthracite dans la cuve.

Lorsque le gazogène est soufflé mécaniquement, la puissance corrélative à ce travail est aussi à déduire de celle des moteurs alimentés par l'appareil. Cette puissance est extrêmement variable avec la qualité du combustible employé : elle ne saurait être fixée en général, soit qu'on recoure à des ventilateurs, des compresseurs ou des exhausteurs. La commande électrique se prête mieux que toute autre aux mesures de puissance.

Voilà pour l'évaluation des calories entrées au gazogène : voyons maintenant ce qu'il en sort de calories utilisables.

Ces calories sont celles du gaz produit : mais ici il y a encore lieu de faire une distinction suivant que l'on utilise les gaz chauds, portant donc avec eux de la chaleur sensible, ou des gaz refroidis. Dans les deux cas, il faut avant tout connaître le volume des gaz combustibles engendrés par le gazogène. C'est une opération importante et toujours difficile.

La solution la plus simple, celle qu'il faudrait conseiller toujours, est celle qui repose sur l'emploi d'un compteur : mais on dispose rarement de compteurs présentant une capacité suffisante de débit, et je n'ai pu employer cette méthode qu'exceptionnellement.

Un autre procédé fort recommandable, donnant une approximation généralement suffisante, est fondé sur le concours d'une cloche de gazogène intercalée sur la canalisation. On pourrait mesurer le temps que le gazofacteur met à la remplir ; le plus souvent on détermine le temps que le moteur ou le foyer desservi par le gazogène met à la vider, et l'on déduit le débit de la source de la consommation de

la machine qu'elle alimente. L'expérience est dirigée de la manière qui suit. On s'assure d'abord de l'étanchéité de la cloche, en constatant que, toutes valves fermées, elle ne baisse pas, la température et la pression restant invariables ; puis, on remplit la cloche et l'on ferme le robinet de la conduite d'amenée du gaz, de sorte que tout le gaz contenu dans le gazomètre soit dirigé vers le point de consommation. Avec l'aide d'un chronomètre à secondes, on observe la chute de la cloche, en fonction du temps. Connaissant la section horizontale de la cloche et sa descente en un temps x, on calcule le volume dépensé dans ce temps, les conditions de l'expérience étant les conditions normales.

Simultanément on relève la pression et la température de l'atmosphère et celle du gaz débité : ces déterminations demandent des soins et quelques précautions, sur lesquels je me contente d'attirer l'attention du lecteur, lui laissant le soin de lire entre les lignes. Il pourrait arriver que la cloche s'inclinât dans sa descente et l'on s'exposerait à commettre une légère erreur sur sa section horizontale ; on risque d'autre part d'être trompé par une oscillation irrégulière, et il est sage de prendre plusieurs repères de la position de la cloche. J'ai trouvé utile le plus souvent de mesurer les déplacements de la cloche par le mouvement des quatre contre-poids, qui équilibrent sa masse, et dont les chaînes pendent le long des colonnes de guidage : on y fixe des index et l'on pointe les variations de hauteur sur des règles disposées à cet effet. La moyenne des lectures simultanées, faites au coup de sifflet, sur un baromètre, un manomètre à eau et plusieurs thermomètres, fournissent les données dont on a besoin pour réduire le volume débité à 0° et 760 millimètres. J'ai eu l'honneur d'être chargé, à maintes reprises, de déterminer les consommations en gaz de haut-fourneau ou en gaz de fours à coke, de puissants moteurs de plusieurs mille chevaux, et j'ai presque toujours donné la préférence au système de la cloche, qui m'a conduit à des résultats dont je pouvais garantir la rigoureuse exactitude (1).

---

(1) Dans la 4e édition de mon *Traité des Moteurs à gaz*, on trouvera plusieurs descriptions d'essais de ce genre, qui exigent la collaboration d'auxiliaires nombreux et zélés, mais dont l'exécution ne présente d'autre part pas de sérieuses difficultés.

Mais on ne dispose pas toujours de gazomètres, et il fallait trouver d'autres méthodes.

Dans mes premières recherches sur les gaz de hauts-fourneaux, et notamment à Differdange, j'ai mesuré des débits en me servant de l'anémomètre, mais je n'eus pas à me louer des résultats obtenus dans ces gaz chauds, chargés de poussières, de vapeur d'eau et même d'eau pulvérisée. Ces impuretés ont

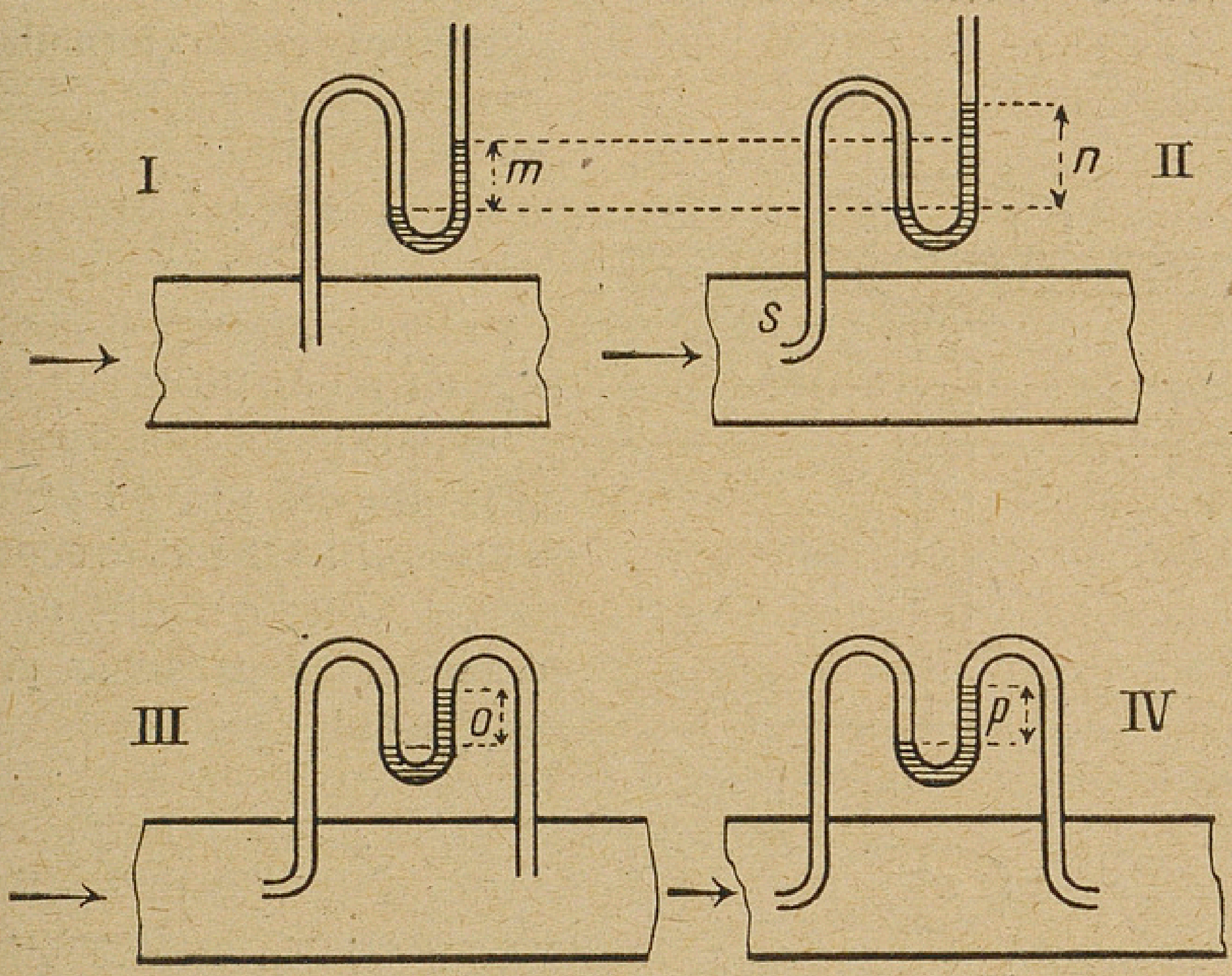


Fig. 6. — Schéma des tubes de Pitot.

été la cause dominante de mes insuccès, car je crois que la méthode pourrait être utilisée dans d'autres circonstances, quand les débits sont irréguliers.

Les tubes de Pitot ne conviennent qu'aux vitesses constantes des veines gazeuses, mais, dans ce cas, ils constituent un procédé remarquable.

Rappelons en peu de mots le principe de la méthode, qui est décrite du reste dans la plupart des traités de mécanique. Si nous branchons sur une conduite, le long de laquelle s'écoule un gaz, un tube piézométrique dont l'extrémité se termine par une section plane, parallèle à l'axe du tuyau (disposition I de

la figure 6), nous mesurons la pression qui règne en ce point ; la mesure ainsi faite est indépendante de la vitesse d'écoulement du gaz. Si, au contraire, l'extrémité inférieure du tube se présente face au courant, comme je l'ai figuré en II, la dénivellation du liquide remplissant le tube sera plus considérable, et l'on démontre qu'elle dépend non seulement de la pression, mais encore de la vitesse avec laquelle le gaz vient heurter l'orifice S normal au courant. Les deux dénivellations m et n correspondent aux formules :

$$m = P$$

$$n = P + \frac{w^2}{2g} D$$

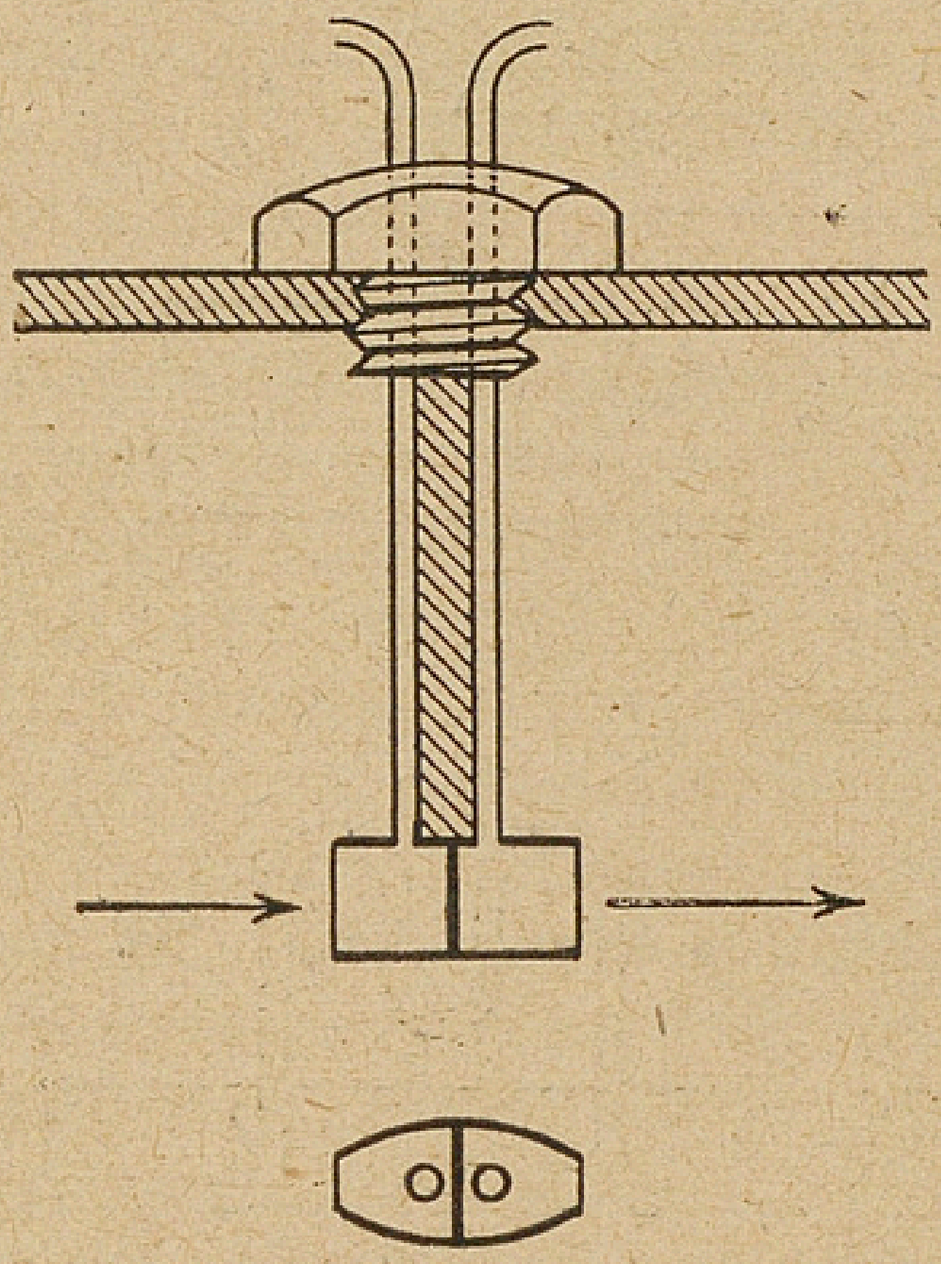


Fig. 7. — Tube de Pitot.

P étant la pression statique, w la vitesse du fluide de poids spécifique D. La connaissance de P présente peu d'intérêt ; le dispositif III fait évanouir du reste cette quantité de la formule et nous avons plus simplement

$$o = \frac{w^2}{2g} D$$

Toutefois la dénivellation n'est pas forte et l'on se voit obligé de la multiplier en employant des manomètres à tube incliné, qui ne laissent pas que de présenter des défauts ; mieux vaut se contenter de doubler la différence de niveau du liquide par le dispositif IV, et de faire emploi d'un liquide moins dense que l'eau. La modification du dispositif donne d'abord :

$$p = \frac{w^2}{g} D$$

De plus, si le liquide est de densité moitié moindre que l'eau, on doublera encore la différence de niveau à lire.

De ces formules, on déduit w, pourvu que l'on connaisse le poids spécifique D du gaz, ce qui ne présente guère de diffi-

cultés, mais nécessite néanmoins une prise de gaz. Pour ce qui est du double tube (modèle IV), on le constitue souvent par deux tubes adossés, conformément à ce que j'ai dessiné sur la figure 7 ; de cette manière, les tubes ne se contrarient pas réciproquement.

Malheureusement les dénivellations sont toujours faibles ; dans le dispositif III, on aurait, d'après Péclet, les correspondances suivantes en hauteur d'eau :

Vitesse w.....	1	2	3	4	5	10	mètres-seconde.
Dénivellation o..	0,065	0,26	0,58	1,04	1.62	6,50	millimètres d'eau.

En substituant l'alcool à l'eau, Scheurer-Kestner avait réalisé un sensible progrès, dû à la plus grande mobilité de la colonne et à ce que l'alcool dissout les matières grasses. Kretz a ensuite construit un manomètre différentiel à deux liquides, eau alcoolisée rougie et essence de térébenthine, dont le pouvoir multiplicateur était égal à 25.

Il existe encore d'autres procédés (Rateau, Bendemann, etc.) mais je crois en avoir dit assez sur ce sujet (1).

Le volume du gaz débité par le gazogène étant donc mesuré par l'un ou l'autre de ces moyens, on calcule la quantité de chaleur sortie du gazogène avec le gaz, pris à la température de l'ambiant ; si sa température lui est supérieure il y a lieu de tenir compte de la chaleur sensible qu'il emporte avec lui en estimant sa chaleur spécifique. Le tableau ci-dessous donne la chaleur spécifique à pression constante des gaz qui composent les produits des gazogènes.

	C
	—
H.....	3,4090
CO.....	0,2479
CH^4	0,5929
C^2H^4.....	0,4040
CO^2	0,2169
O	0,2438
Az	0,2175

(1) On a quelquefois fait usage d'un procédé chimique qui est plus ingénieux que pratique : on introduit dans la veine de gaz un filet de CO^2, de n centimètres cubes par seconde, et l'on détermine la teneur en

La composition du gaz en poids permet de faire la somme des produits PC des poids par les chaleurs spécifiques, et de calculer la chaleur d'un mélange déterminé possédant une température T.

Lorsque le gaz combustible arrive froid à l'appareil où on l'utilise, il ne possède que de l'énergie calorifique à l'état potentiel ; on la détermine en faisant le produit du volume débité par le pouvoir calorifique moyen. Pour être sûr d'avoir le pouvoir *moyen*, il est nécessaire de recueillir du gaz pendant toute la durée de l'essai, à intervalles réguliers et rapprochés, et de mélanger ces prises dans un récipient dans lequel on puisera le gaz destiné à être analysé ou éprouvé au calorimètre. Une agitation est toujours à conseiller, étant donnée la grande différence de densité des éléments composants. On considérera le gaz comme saturé de vapeur d'eau à la température du récipient, qui devra renfermer un peu d'eau liquide pour assurer cette saturation.

V. — CALCUL DES RENDEMENTS

La théorie permet un calcul des rendements ; mais il y a aussi loin d'un rendement théorique au rendement réel que de la coupe aux lèvres.

Le rapport du rendement pratique réel au rendement théorique escompté, constitue ce qu'on appelle le rendement *générique* de l'appareil : celui-ci n'est jamais égal à l'unité. Il permet d'apprécier d'abord le degré de perfection de l'engin et du procédé : mais il fournit d'autre part une donnée de perfectibilité. Un rendement générique faible laisse l'espoir de l'améliorer.

Cela posé, examinons successivement ce que promet la théorie et ce que réalise la pratique.

1. **Rendements théoriques.** — Commençons par les gazofacteurs par distillation, qui sont simplement des appareils

---

CO^2 avant et après son introduction : une équation permet d'établir le débit par seconde.

d'analyse immédiate ; ils décomposent le combustible en ses composants solides, liquides et gazeux, par l'action de la température élevée à laquelle il est soumis. La houille est formée d'un ensemble de composés ternaires contenant du carbone,

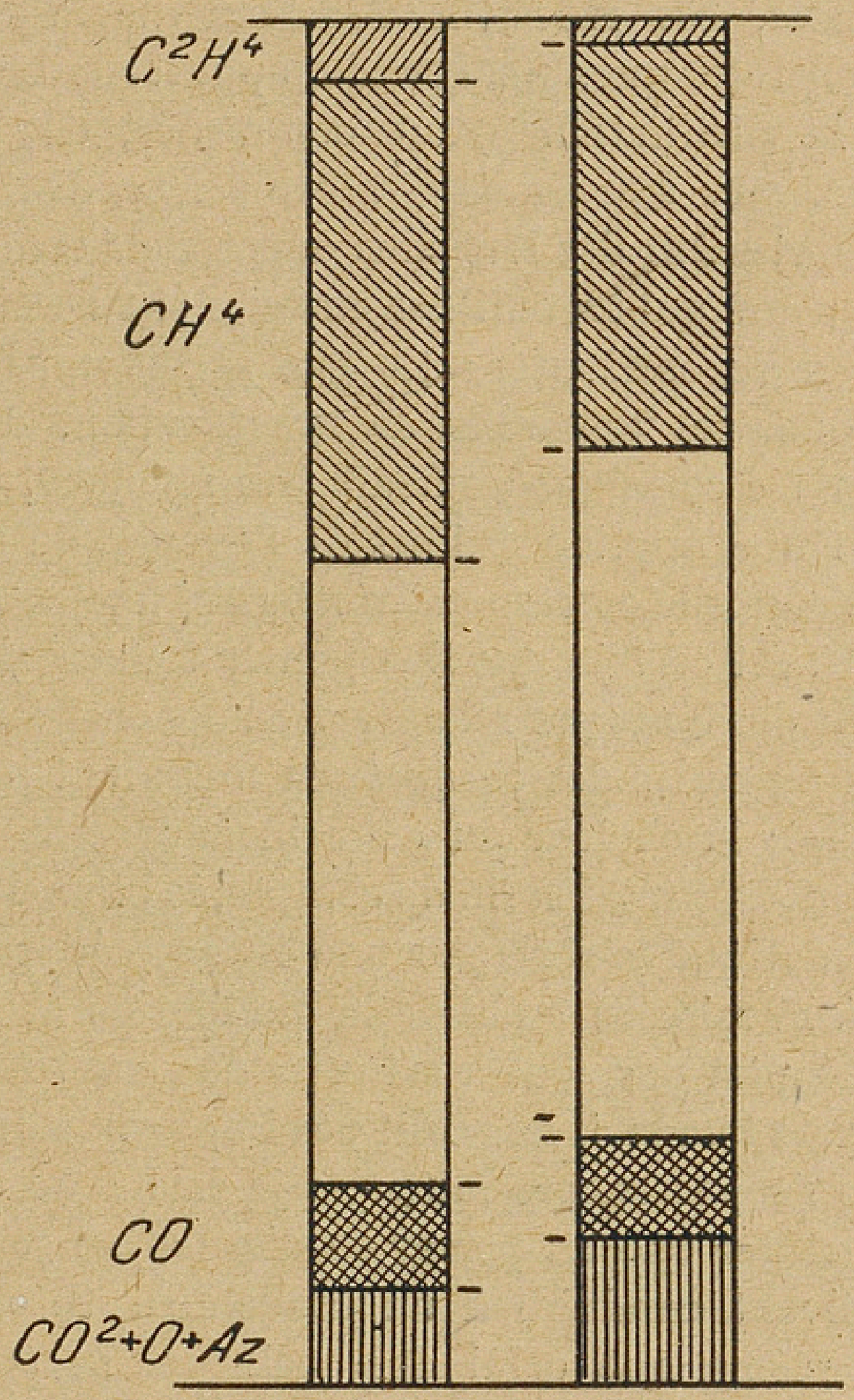


Fig. 8. — Parallèle des gaz de cornues et de fours.

de l'hydrogène et de l'oxygène, avec un peu d'azote et de soufre qui y occupent un rang secondaire. Les gaz et produits volatils qui se dégagent et se forment dans la distillation sont de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène, du proto et bicarbure et de la benzine, qui sont les principes constituants du gaz d'éclairage ; il se forme en outre de la vapeur d'eau, de l'ammoniaque, du goudron (riche en naph-

taline), de l'hydrogène sulfuré, du sulfure de carbone, de l'acide cyanhydrique, etc. Parmi les réactions qui ont lieu, il en est d'endothermiques, notamment celles de la benzine, de C^2H^4, du sulfure de carbone, du cyanure et de quelques goudrons. Au point de vue purement chimique, il se peut que, dans leur ensemble, ces réactions dégagent de la chaleur ; de fait, on constate que, un certain apport de chaleur étant fourni et la distillation ayant commencé, elle se continue d'elle-même, *sans dépense de combustible*. La distillation de la houille s'effectuerait dès lors sans dépense de combustible (1). Mais les vapeurs qui sortent des cornues ont besoin d'être refroidies pour se condenser ; les gaz abandonnent aussi du calorique dans les appareils de réfrigération, de lavage et d'épuration. Ce calorique pourrait être récupéré, en partie du moins, sauf une fraction qui est de l'énergie de qualité inférieure, parce qu'elle correspond aux basses température de condensation. Il est certain que l'on pourrait chauffer l'air admis dans la grille des fours par récupération des chaleurs emportées par les gaz au sortir des cornues, en modifiant les classiques jeux d'orgue ; la chaleur du coke incandescent pourrait de même être utilisée (2). En fin de compte, le bilan de l'opération même schématique se règle par une dépense de chaleur correspondante à la mise en train de la distillation et aux calories qu'on ne récupère pas. Quelle est cette dépense ? Avec patience et longueur de temps, il ne serait pas impossible de la calculer, mais on ne l'a pas encore fait, que je sache. Je me bornerai donc à constater que les pertes en distillation sont faibles et qu'elles doivent conduire à un rendement théorique élevé, plus élevé même que celui des meilleurs gazéificateurs de gaz.

Ces considérations s'appliquent entièrement aux fours à

---

(1) M. Euchène a présenté, en 1900, au Congrès de l'Industrie du gaz, un remarquable travail sur cette question, auquel nous renverrons le lecteur désireux de résoudre cet intéressant problème. L'auteur conclut nettement en faveur d'un dégagement de chaleur dans la distillation et il se trouve d'accord avec des expériences très curieuses de M. Mahler.

(2) On introduit quelquefois dans les cornues la vapeur provenant de l'extinction du coke.

coke, dont les produits sont presque identiques à ceux des cornues, ainsi que cela se voit sur la figure 8 ; les charbons sont traités plus lentement et plus longuement en four, ils sont mieux épuisés et ils donnent relativement moins de carbures ; l'augmentation de la somme $CO^2 + O + Az$ peut être attribuée à quelques rentrées d'air.

Il n'y a plus de distillation dans les gazogènes producteurs de gaz à l'eau.

La fabrication du gaz à l'eau doit s'effectuer dans des conditions remarquables, si l'on s'en tient uniquement à la théorie et qu'on néglige les fuites et les pertes. En effet, voyons ce qui se passe d'abord en marche discontinue et alternative. En période de soufflage, on brûle très peu de charbon pour porter sa masse à la température voulue de 1.000°, mais cette combustion est complexe ; les gaz brûlés vont chauffer la chaudière à vapeur qui, dans la phase suivante, débitera la vapeur surchauffée nécessaire à l'opération. Dans cette phase, la vapeur est dissociée en absorbant un calorique qui sera entièrement restitué, lorsque les éléments de l'eau se recombineront de nouveau. Rien de perdu en tout cela.

Rien de perdu non plus dans les gazogènes à fonctionnement continu, si l'on admet que le calorique est transmis intégralement au charbon à rendre incandescent à travers la paroi de la cornue qui le renferme.

Au seul point de vue de la théorie, le producteur de gaz à l'eau est donc un appareil vraiment remarquable.

Le gazogène du type Siemens, fournissant du gaz à l'air par combustion incomplète, est foncièrement moins parfait, ainsi que nous allons le voir.

Il s'y produit une combustion, mais une combustion inachevée, par insuffisance d'oxygène ; il en sort de l'oxyde de carbone au lieu d'anhydride carbonique, que l'on obtiendrait si le combustible recevait du comburant à saturation. On peut admettre que l'opération se fasse en deux temps, ou plutôt en deux endroits de la cuve ; contre la grille, le peu d'oxygène suffit au carbone rencontré sur le chemin de l'air, et il s'y forme presque uniquement du CO^2 ; mais ce gaz monte alors dans une zone où le charbon porté au rouge le réduit, et il se

transforme en CO. La combustion est donc incomplète par intention. Par le fait même, on ne développe qu'une fraction des calories que devrait donner le charbon. Cette fraction a pour valeur le rapport des deux chaleurs de combustion du carbone en CO et en CO^2 ; elle est égale à $\frac{2.454}{8.138} = 0{,}301$. Il en résulte à l'évidence qu'une opération conduite de la sorte ne peut rendre au plus que 70 p. 100 ; ce serait le rendement maximum d'un gazogène Siemens, si l'on n'utilisait pas la chaleur sensible des gaz chauds, c'est-à-dire si on les refroidissait sans récupération de leur calorique en les transportant au loin par exemple, avant de s'en servir. Il est vrai que ce n'est pas le cas, ni en métallurgie, ni en verrerie, ni en aucune application où le chauffage est immédiat. Comme toute la chaleur produite se retrouve en réalité dans le gaz, il n'y aurait à proprement parler pas de déchet du tout, s'il n'y avait pas de pertes. Par contre, le gaz à l'air serait d'un très mauvais emploi dans les moteurs, où le gaz doit arriver refroidi.

C'est ici que va se manifester maintenant le grand avantage qu'il y a à faire du gaz mixte.

J'ai déjà dit qu'il s'imposait de faire intervenir l'eau dans le processus de génération des gaz de gazogène, uniquement pour empêcher une élévation excessive de la température, tant au point de vue de la conservation des grilles et des revêtements réfractaires que du gouvernement du feu. Mais il faut insister sur le fait, très intéressant au point de vue spéculatif, que ces précautions prises pour empêcher les appareils de se dégrader rapidement sont en même temps un remarquable moyen de récupération. La décomposition d'une certaine quantité d'eau est une opération endothermique, qui absorbe de la chaleur proportionnellement au poids décomposé, en donnant naissance d'abord à de l'hydrogène et à de l'oxygène, puis à de l'oxyde de carbone qui enrichit le gaz. Ces résultats avaient été clairement entrevus par Ebelmen et par Thomas et Laurens, dont les successeurs n'on eu que le mérite d'appliquer les idées, en mettant au point celles qu'ils avaient émises.

Letombe a élucidé ces questions avec une remarquable sa-

gacité (1). Il a établi une formule qui permet de calculer la composition en poids d'un gaz mixte, en fonction des quantités x de carbone et y d'eau intervenant dans les réactions.

Rappelons-nous d'abord ce qui suit :

La molécule étant formé de deux atomes, nous écrivons H^2 pour un poids moléculaire d'hydrogène égal à 2, O^2 pour 32 d'oxygène, etc. ; nous avons donc pour C un poids 12.

$$18\ (H^2O) = 2\ (H^2) + 16\ (O)$$
$$12\ (C) + 16\ (O) = 28\ (CO)$$
$$12\ (C) + 32\ (O^2) = 44\ (CO^2)$$

Les lettres entre parenthèses ne figurent dans ces relations que pour indiquer la nature des corps qui se combinent entre eux.

Appelons x et $1 - x$ les fractions de un kilogramme de carbone qui doivent former respectivement CO et CO^2 ; il vient :

$$x\ (C) + \frac{4}{3}\,x\ (O) = \frac{7}{3}\,x\ (CO)$$

$$(1 - x)\ (C) + \frac{8}{3}\,(1 - x)\ (O^2) = \frac{11}{3}\,(1 - x)\ (CO^2)$$

$$y\ (H^2O) = \frac{1}{9}\,y\ (H^2) + \frac{8}{9}\,(O).$$

Additionnant membre à membre et simplifiant :

$$1\ (C) + \left[\frac{8}{3} - \frac{4}{3}\,x - \frac{8}{9}\,y\right](O) + y\ (H^2O)$$
$$= \frac{7}{3}\,x\ (CO) + \frac{1}{9}\,y\ (H^2) + \frac{11}{3}\,(1 - x)\ CO^2$$

Dans cette dernière relation, x et y restent indéterminés ; mais en se donnant y, on trouve x et le poids des différents gaz produits, d'où l'on peut passer au volume et à la composition

---

(1) LETOMBE. *Les Gazogènes à gaz pauvre* ; Mémoires de la Société des Ingénieurs civils, janvier, 1908. Voir aussi PÉCLET, *Traité de la chaleur*, 4e édition, 1878, tome I, page 467.

du mètre cube de gaz mixte. On déduit aussi des chiffres obtenus le rendement thermique de l'appareil.

Faisons par exemple $y = 0$ et $x = 1$; c'est le cas du gaz à l'air pur, du gaz Siemens, considéré ci-dessus ; on trouve un rendement maximum de 70 p. 100 ainsi que nous l'avons dit. Voici la suite des calculs qui mènent à ce résultat.

$$1\,(C) + \frac{4}{3}\,(O) = \frac{7}{3}\,(CO)$$

$\times$ 1 kilogr. C + 1 kilogr., 333 (O) = 2 kilogr., 333 (CO).

Le poids spécifique de l'oxyde de carbone étant 1,251 et celui de l'oxygène 1,431, nous voyons que nous produisons 1,8 mètre cube d'oxyde par 0,93 mètre cube d'oxygène, ou $\frac{79}{21}\,0{,}93 = 3{,}5$ mètres cubes d'azote, l'air renfermant en poids 79 d'azote pour 21 d'oxygène.

Prenant pour pouvoir de l'oxyde de carbone (au mètre cube) 3.050 calories, nous trouvons que la combustion du gaz à l'air ainsi engendré ne peut dégager que 3.050 $\times$ 1,8 = 5.680 pour les 8.080 calories du carbone employé ; le rendement est donc $\frac{5.680}{8.080} = 0{,}7$; c'est bien ce que nous avions dit.

Mais fabriquons du gaz mixte et faisons $y = 369$ grammes ; c'est la quantité d'eau nécessaire pour récupérer 1.000 calories sur les 2.400 produites par la formation de CO. Le calcul donne, par kilogramme de carbone, 4,980 mètres cubes de gaz, contenant 9,2 p. 100 d'hydrogène par mètre cube, possédant un pouvoir supérieur de 1.400 calories ; c'est un très bon gaz. On peut même considérer ce chiffre comme un maximum, quelle que soit la quantité d'eau décomposée, car si on laissait moins de 1.000 calories dans les gaz produits, l'allure deviendrait trop froide, et le feu risquerait de s'éteindre, en même temps que le rendement baisserait. Dans le cas envisagé, le rendement prend la valeur de 0,876 ; en allure moins chaude (notamment dans le fonctionnement en gaz Mond), le rendement tombe à 0,65.

Quand on fait emploi d'un combustible bitumineux, la distillation des produits volatils absorbe une quantité de chaleur

assez grande pour permettre de décomposer moins d'eau dans la cuve du gazogène ; il est même des cas pour lesquels il ne faudrait plus d'eau du tout, étant entendu qu'on ne s'occupe que de la réfrigération nécessaire. Letombe cite comme exemple, à cet égard, une houille grasse à 30 p. 100 de matières volatiles, et il admet que le kilogramme d'un tel combustible absorbe 600 calories pour que la distillation s'amorce et dégage les produits qui peuvent prendre la forme gazeuse. Or, après la distillation, il restera 700 grammes de coke, lesquels dégageront, en engendrant de l'oxyde de carbone, $0{,}7 \times 2.454 = 1.718$ calories ; c'est sur cette chaleur que portera la récupération. Comme nous admettons qu'il disparaît par distillation 600 calories, il ne restera dans les gaz que 1.118 calories non récupérées ; pas n'est besoin dès lors d'insuffler de la vapeur avec l'air ; il suffira de maintenir dans le cendrier une mince couche d'eau, qui s'évaporera lentement sous l'action du rayonnement du foyer ou par l'extinction des escarbilles qui tombent de la grille.

Cette théorie ne tient pas compte des goudrons qui se produisent en abondance dans la gazéification de certaines qualités de houille ; mais les goudrons sont des substances extraordinairement complexes, sur lesquelles nous possédons trop peu de notions précises pour qu'on s'aventure dans ce dédale, qui pourrait être appelé un chaos.

M. Marchis a calculé d'une manière toute différente et non moins remarquable le rendement théorique des gazogènes à gaz mixte (1).

Ce physicien distingué déduit le volume des gaz fournis par un kilogramme de combustible de la composition de ces gaz, qu'il suppose ne renfermer que CO, CO^2 et CH^4 d'éléments carburés. Il prête au mètre cube de vapeur de carbone à 0° et 760 millimètres un poids égal à $0{,}0692 \times 1{,}293 \times 12 = 1{,}076$ (douze fois celui de H), et il remarque qu'un mètre cube de chacun des gaz susdits renferme un demi-mètre cube de vapeur de C, soit $\frac{1{,}076}{2} = 0{,}538$. Par suite, 100 mètres cubes

(1) Marchis. *Leçons sur la production et l'utilisation des gaz pauvres* (1906), autographié, page 131.

du gaz dont nous avons la composition centésimale contiennent ($CO + CO^2 + CH^4$) 0,538 kilogrammes de carbone et un kilogramme de carbone donne un volume de

$$\frac{100}{0{,}538\ (CO + CO^2 + CH^4)} = \frac{185{,}8}{CO + CO^2 + CH^4}$$ mètres cubes.

Cette question résolue, remarquons encore que le kilogramme d'un combustible solide donné n'est pas entièrement formé de carbone, mais que ce métalloïde n'en constitue qu'une fraction K qu'il est toujours aisé de déterminer. Un charbon donné fournira par conséquent $\frac{K\ 185{,}8}{CO + CO^2 + CH^4}$ mètres cubes de gaz à 0° et 760 millimètres. C'est la valeur de V de notre formule.

Le pouvoir calorifique supérieur se déduit aussi de la composition centésimale du gaz, et l'on peut écrire, ainsi qu'il a été dit ci-dessus (1),

$$C = 3{,}07\ CO + 9{,}75.CH^4 + 3{,}10\ H$$

Appliquons la méthode à un gaz que j'ai relevé moi-même dans des essais et dont j'ai déterminé la composition en volume

	P. 100
H	16,5
CO	25,4
CH^4	1,0
CO^2	4,8
O	1,2
Az	51,1
	100,0

Le charbon employé était de l'anthracite du pays de Galles, renfermant 90 p. 100 de carbone pur ; nous ferons donc K = 0,9 et nous aurons

$$V = \frac{0{,}9 \times 185{,}8}{25{,}4 + 4{,}8 + 1} = 5{,}35$$ mètres cubes par kilogramme.

(1) *Vide supra*, page 124.

Quel est le pouvoir C de ce gaz ? (1)

$$C = 165 \times 3{,}1 + 30{,}7 \times 25{,}4 + 10 \times 9{,}75$$

= 1.390 calories au mètre cube à 0° et 760 millimètres.

Le pouvoir calorifique de l'anthracite a été déterminé dans mon laboratoire de la Faculté libre de Lille, au moyen de mon calorimètre spécial décrit ci-dessus ; le pouvoir supérieur à été trouvé égal à 7.800 calories.

Or, l'essai dont il s'agit avait porté sur un gazogène Dowson, dont la chaudière indépendante avait consommé 116 grammes du même anthracite par kilogramme brûlé dans la cuve du gazogène ; il faut donc majorer le poids de charbon et le porter à 1,116.

Finalement, nous avons :

$$l = \frac{V.C}{P\,P} = \frac{5{,}35 \times 1.390}{1{,}116 \times 7.800} = 0{,}87.$$

Je n'insisterai pas sur le grand intérêt que présente ce calcul qui dispense de la détermination directe du volume V ; évidemment, comme le dit fort sagement M. Marchis, on n'obtient ainsi qu'une « indication », mais elle est très précieuse.

Les hauts-fourneaux sont de puissants gazogènes qui produisent aussi du gaz mixte, très pauvre, renfermant peu d'hydrogène, alors qu'il est relativement assez riche en oxyde de carbone ; sa pauvreté est surtout la conséquence d'une forte teneur en azote et en anhydride carbonique et d'une extrême misère en hydrocarbures. Ces résultats s'expliquent sans peine par la nature du combustible employé, le coke des fours.

A vrai dire, en se plaçant au point de vue unique de la production de gaz, un fourneau est assimilable à un gazogène soufflé à air presque sec, dont le combustible est mêlé de corps étrangers. Son gaz est donc plutôt du gaz à l'air que du gaz mixte. On ne peut pas faire abstraction du travail particulier effectué dans la cuve ; à la partie supérieure, l'oxyde de car-

---

(1) Se reporter à ce qui a été écrit ci-dessus.

bone donne de l'acide carbonique, par réaction sur les oxydes de fer du minerai ; cet acide ne peut plus être réduit, puisqu'il traverse des charges qui ne sont pas encore portées à une température assez élevée. Le coke mis en œuvre garde dans ses pores serrés une minime proportion de gaz et de matières volatiles, qui se dégagent des couches à un moment donné ; c'est l'origine du méthane. L'air insufflé n'est généralement pas desséché et il apporte avec lui peu d'humidité, qui se joint à celle du coke et du minerai. Une seule remarque utile peut être faite ; le pouvoir calorifique C du gaz est d'autant plus élevé que celui-ci renferme moins d'anhydride carbonique, formé surtout aux dépens de l'oxyde de carbone. Théoriquement, le rendement du haut-fourneau, pris comme gazogène, ne peut être que médiocre ; nous verrons plus loin ce qu'il est en réalité.

2. **Rendements pratiques.** — Nous entrons maintenant dans le réel et n'envisagerons plus que des résultats dûment contrôlés et des bénéfices encaissés.

Suivons le même ordre que ci-dessus et débutons par l'examen des cornues de distillation et des fours à coke, qui forment une même catégorie d'appareils, et tendent à s'identifier en profitant l'un de l'autre. Les cornues à gaz ont servi longtemps de modèle aux fours des cokeries ; aujourd'hui, c'est l'inverse qui paraît se produire. Il subsiste néanmoins encore des distinctions à établir entre cornues et fours, par suite même des objectifs entièrement différents poursuivis dans les deux fabrications : dans les unes, le coke est un sous-produit, dans les autres ce sont les gaz qui constituent le produit surnuméraire.

Cornues a gaz. — Ne nous arrêtons pas à considérer séparément les cornues horizontales, verticales ou inclinées auxquelles on donne la préférence dans les usines à gaz de ville ; distinguons seulement les modes de chauffage, soit directs au coke, soit indirects par gazéification du coke. Autrefois on admettait qu'il en coûtait 30 kilogrammes de coke pour distiller 100 kilogrammes de houille ; aujourd'hui la dépense a été notablement abaissée, et M. Euchène a cité un cas dans lequel on n'avait consommé qu'environ 15 kilogrammes de coke, soit moitié moins. C'est le chiffre que nous considérerons ; il dépend non seulement

du mode de travail et du système d'appareils, mais encore de la nature de la houille mise en œuvre ; on ne nous demandera pas d'entrer ici dans ces détails (1).

Partons des chiffres ci-dessous : 100 kilogrammes de charbon, d'un pouvoir (supérieur) de 8.200 calories au kilogramme, donnent les produits suivants :

32 mètres cubes (poids spécifique = 0,45) pesant ..	14 kgr. 4
Coke.....	72 kgr. 0
Benzol	0 kgr. 6
Huiles diverses	1 kgr. 0
Brai.....	1 kgr. 5
Produits incombustibles et pertes.....	10 kgr. 5
	100 kgr. 0

Calcul du rendement (2)

Calories de la houille distillée.....		820.000	
Calories du gaz : 32 × 5.250 = ...			168.000
Calories du coke disponible : 72 — 15 = 57 × 7.500 = ...			427.500
Calories des sous-produits.....	Benzol : 0,6 × 9.000 = 5.400		26.950
	Huiles : 1 × 8.800 = 8.800		
	Brai : 1,5 × 8.500 = 12.750		
			622.450

$$\text{Rendement thermique} = \frac{622.450}{820.000} = 0{,}759$$

Tel serait le rendement que peut donner pratiquement aujourd'hui une installation excellente des cornues dans une usine à gaz moderne.

Fours a coke. — Passons aux fours à coke et, sans nous attarder à des considérations relatives à des errements de début,

---

(1) L'introduction de la vapeur d'eau dans les cornues vers la fin de la distillation, entre le coke et la paroi, peut porter le rendement en gaz à 35 mètres cubes, sans abaisser au-dessous de 5.000 calories son pouvoir calorifique et sans trop nuire à son pouvoir éclairant.

(2) Je prête au coke un pouvoir de 7.400 calories au kilogramme et au gaz un pouvoir de 5.250 calories au mètre cube à 0° et 760 millimètres ; pour les sous-produits, on peut compter sur 9.000, 8.800 et 8.500 calories.

envisageons tout de suite un four du type Otto-Hoffmann, auquel a été appliqué le principe du régénérateur Siemens. Une partie des gaz de distillation est brûlée dans des empilages réfractaires (les régénérateurs), auxquels ils cèdent leur chaleur sensible en même temps que leur chaleur de combustion. Ces appareils sont à inversions périodiques, ce qui veut dire que, dans une première phase, ils sont chauffés par les gaz, alors que dans une phase subséquente ils chauffent l'air, qui vient comburer le gaz employé à chauffer les carneaux des fours. L'excédent de ces gaz (*das Uberschussgas*, *the surplus gas*) est

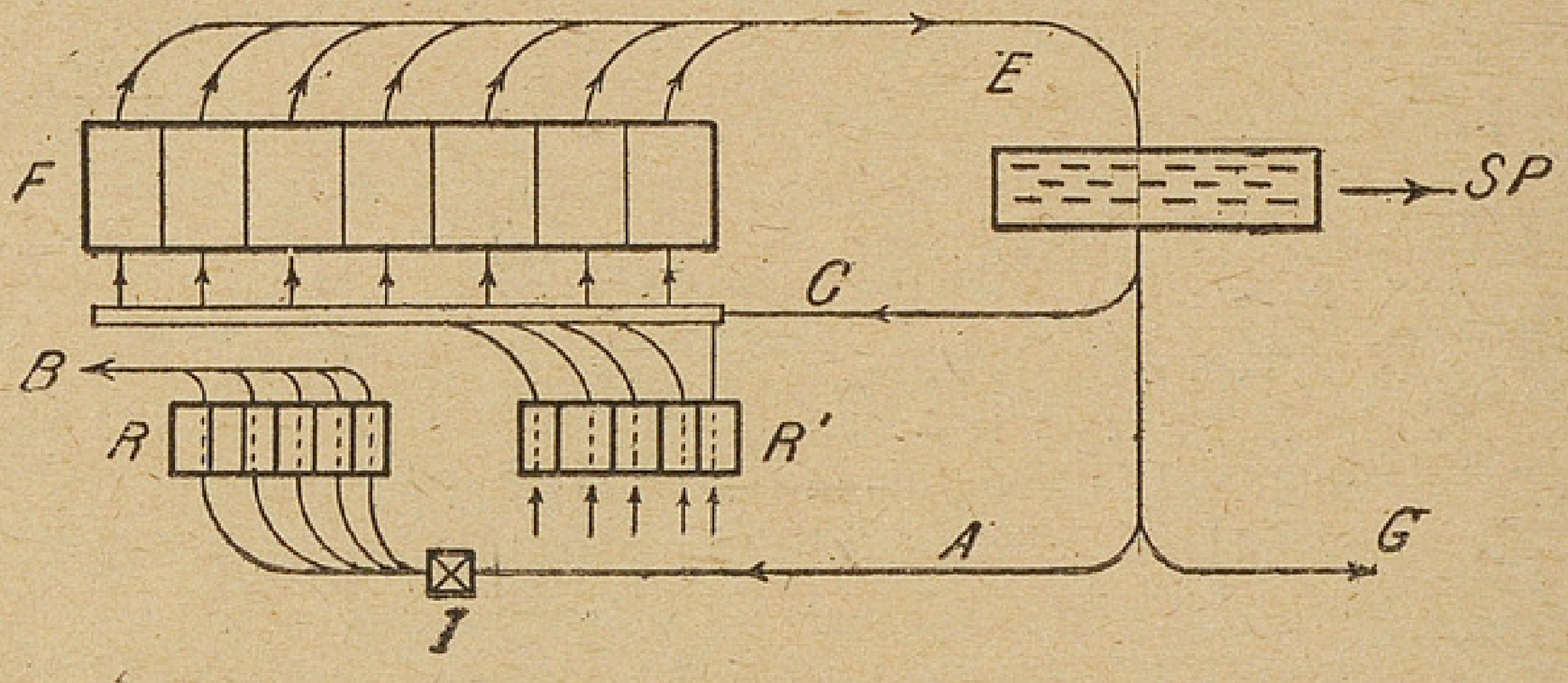


Fig. 9. — Schéma d'un four à coke à récupération.

conduit dans une usine de traitement des sous-produits, où il abandonne ce qu'il entraîne de condensable ; nous ne nous occuperons que de ce qui en est combustible.

La figure 9 donne le schéma d'une installation de ce genre. La batterie des fours est représentée en F ; les gaz de distillation sont conduits directement à l'usine de récupération E, où ils sont lavés, épurés et débarrassés de leurs vapeurs combustibles, qui sont dirigées vers SP ; une partie du gaz va par C aux brûleurs, qui chauffent les fours. Une autre partie A est employée à réchauffer l'air servi aux brûleurs ; une troisième part est disponible et livrée par G aux moteurs et aux foyers de tout genre qui en ont l'emploi. Suivons le contingent A ; il brûle dans le régénérateur R. Un instant auparavant, c'était dans le régénérateur de droite R′ qu'il se consumait ; il avait élevé sa température à un millier de degrés ; maintenant il est traversé par l'air puisé dans l'atmosphère et appelé par la che-

minée dans les fours. En I est placée la valve d'inversion, qui envoie les gaz à brûler alternativement dans l'un ou l'autre des régénérateurs (1).

Pour calculer le rendement, il faut évaluer la chaleur du combustible enfourné, puis celle des sous-produits SP et du gaz envoyé en G ; le gaz qui part par A est consommé par l'opération de distillation et à son profit ; nous n'avons donc point à en faire état.

Les chiffres ci-dessous parlent d'eux-mêmes et n'ont pas besoin d'être commentés.

100 kilogrammes de charbon à 25 p. 100 de matières volatiles subissent une cuisson de trente-six heures et fournissent 28 mètres cubes de gaz, dont les quatre dixièmes environ seront disponibles en G, soit 12 mètres cubes.

Le pouvoir moyen du gaz épuré est estimé à 4.000 calories au mètre cube.

Calories du charbon cokifié		820.000
Calories du gaz disponible = 12 × 4.000 ..	= 48.000	
Calories du coke = 72 × 7.500	= 540.000	
Calories des sous-produits	= 26.950	
	624.950	

$$\text{Rendement thermique} = \frac{624.950}{820.000} = 0{,}76.$$

Ce rendement est peut-être à ranger parmi ceux qui sont les plus favorables. M. Marquisan a emprunté à un travail du Dr Schniewind le tableau comparatif ci-après, très détaillé, dont les conclusions diffèrent un peu des précédentes.

---

(1) Dans quelques installations, on emploie au chauffage des fours du gaz engendré dans des gazogènes spéciaux alimentés de coke ; nous reviendrons sur cette particularité dans laquelle nous trouvons une association heureuse de divers procédés de gazéification.

Chaleur contenue dans 100 livres de charbon sec	EN CORNUES				En four Otto-Hoffmann
	D'après von Œchelhaeuser	D'après Koerting	D'après Schilling	Valeur moyenne	
Dans le coke à vendre	46,1	51,0	46,0	47,8	72,3
Dans le coke brûlé....	10,1	14,0	10,0	11,4	—
Dans le goudron	5,5	5,8	6,9	6,1	4,1
Dans le gaz à vendre.	21,0	20,0	23,0	21,3	12,7
Dans le gaz brûlé.....	»	»	»	»	10,7
S.-P. et pertes	17,0	9,2	14,1	13,4	0,2
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Chaleur consommée et perdue en distillation	27,1	23,2	24,1	24,8	10,9
Chaleur des S.-P.....	72,9	76,8	75,9	72,2	89,1
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

On voit qu'en somme les rendements des fours et des cornues ne diffèrent guère, et il n'y a pas lieu de s'en étonner. La tendance des gaziers à accoître les charges en prolongeant la durée de la distillation, et leur dessein de se rapprocher des conditions de la fabrication du coke métallurgique plus dense diminuera de plus en plus les différences qui existent entre ces deux industries, parties de deux pôles opposés et amenées à des régions voisines.

Gazogènes de gaz à l'eau. — Pour connaître exactement le rendement pratique de ces appareils, il faudrait entreprendre des expériences spéciales, conduisant à des chiffres précis de consommation de coke, de vapeur d'eau et d'air comprimé pour une production d'un volume déterminé de gaz possédant un pouvoir mesuré au calorimètre. Ces expériences ont peut-être été faites, mais j'ai le regret de n'en avoir trouvé nulle part les résultats affirmés par une signature autorisée, et je me vois

obligé d'accepter des indications vagues, recueillies dans diverses publications.

Voici donc ce qu'on peut admettre comme probable. Il semblerait que la combustion d'un kilogramme de charbon approprié donne environ 2.500 litres d'un gaz possédant un pouvoir supérieur de 2.800 calories au mètre cube. Mais il faut tenir compte de la consommation de combustible dans la chaudière à vapeur, et de celle qui correspond à la compression de l'air de soufflage : estimons celles-ci à 250 grammes et attribuons à ce charbon un pouvoir de 7.500 calories comme ci-dessus. Le rendement ressortirait par suite à $\frac{2,5 \times 2800}{7.500 \times 1,25} = 0,74$. Si l'on prenait les pouvoirs inférieurs du combustible solide et du gaz engendré, on arriverait à 0,71 environ.

On admet évidemment que la période de soufflage est limitée strictement au temps nécessaire pour ramener le combustible à l'incandescence, et que le volume d'air fourni fasse rendre à ce combustible tout le calorique qu'il est susceptible de développer par une combustion complète, la chaleur des gaz brûlés étant du reste utilisée pour réchauffer l'eau de la chaudière. Ajoutons que ces chiffres sont fournis par des amis du gaz à l'eau : Letombe, qui n'en était pas, ne croyait pas que le gazogène au gaz à l'eau pût avoir un rendement supérieur aux gazogènes « ordinaires », dit-il, ce qui signifie sans doute les gazogènes à gaz mixte, dont le gaz est employé froid.

Gazogènes au gaz à l'air. — Ce genre d'appareils est appliqué aux cas dans lesquels les gaz arrivent chauds au four qu'ils desservent, l'air primaire d'insufflation étant chauffé par les chaleurs perdues au voisinage de 1000° aussi bien que l'air secondaire admis aux brûleurs : cette récupération de calories permet une utilisation remarquable du calorique développé par la gazéification du charbon.

Le calcul du rendement est extrêmement difficile à faire puisqu'il est nécessaire et juste de tenir compte au gazogène de la température des gaz qui en sortent : les chaleurs spécifiques des gaz composants et des vapeurs sont fonctions des températures et nous ne les connaissons qu'approximativement.

On est en droit d'affirmer, en vertu même de la récupération, que la limite théorique de 70 p. 100 pour le rendement est largement dépassée, puisqu'on retrouve l'équivalent de la combustion partielle en CO qui est effectuée dans la cuve de gazéification. Le souci principal de ceux qui installent de ces générateurs est de récupérer le plus possible les calories développées dans l'opération elle-même, et de réduire au minimum les pertes aux parois (1).

Si le gaz doit être employé froid, c'est le gazogène à gaz mixte qui s'impose, nous avons déjà dit pourquoi.

Gazogènes au gaz mixte. — Les expériences directes, poursuivies dans le but de déterminer le rendement pratique de ces générateurs, sont assez rares : j'ai eu la bonne fortune d'être mis à même d'en exécuter quelques-unes. J'en ferai connaître trois, choisies entre un certain nombre d'autres, que je n'ai pas le droit de publier sans y être autorisé. Du reste, je ne citerai aucun nom de constructeur, de crainte qu'on n'établisse des parallèles déplaisants, d'ailleurs non justifiés, car on ne peut comparer des résultats d'essais, conduits de manières entièrement différentes, dans des conditions différentes et dans des buts variés. Ainsi un essai en marche industrielle est tout autre qu'un essai de consommation spécialement soigné et surveillé ; dans le second on subordonne tout à l'expérience, tandis que le premier suit toutes les fluctuations des appareils d'utilisation.

Gazogène genre Dowson

Marche industrielle de 14 h. 30 minutes (A. W).
Arrêt intermédiaire de 2 h. 22 minutes.
Charbon : anthracite Great Mountain Llanelly.
Pouvoir supérieur : 7.800 calories.
Carbone fixe : 90 p. 100.
Coke pour la chaudière : coke à gaz.
Pouvoir supérieur : 7.400 calories environ.
Consommation : anthracite = 600 kilogrammes.
Coke = 70 —

---

(1) Faisons observer incidemment que les gazogènes Siemens s'adaptent bien à des charbons tout-venants ou même fins, gras et gonflants, même collants, dont on peut briser les agglomérats et les voûtes au ringard.

Gaz produit : 2.400 mètres cubes.
Pouvoir supérieur : 1.287 calories.

$$\text{Rendement } \rho = \frac{2.400 \times 1287}{600 \times 7.800 + 70 \times 7.400} = 0,60.$$

(Méthode de la cloche).

Même genre de gazogène

Marche industrielle (A. W).
Deux journées de 11 heures avec 1 heure d'arrêt.
1er jour : 1 kgr. 100 d'eau
2e — : 0 kgr. 850 — } par kilogramme de charbon
Charbon maigre d'Anzin :
Pouvoir supérieur : 7.642 calories.
Coke pour la chaudière : coke à gaz.
Pouvoir supérieur : 7.400 calories environ.

	1re journée	2e journée
	—	—
Consommation de charbon au gazogène (kgr.).....	186	204
Consommation de coke à la chaudière.....	41,5	35,5
Production de gaz à 0° et 760 mm. (mètres cubes).....	896,4	892,0
Pouvoir supérieur du gaz (cal.)..	1.208	1.283

Rendements
$$\text{1re journée : } \rho = \frac{896,4 \times 1.208}{186 \times 7.642 \times 41,5 + 7.400} = 0,627$$
$$\text{2e journée : } \rho = \frac{892 \times 1.283}{204 + 7.642 + 35,5 \times 7.400} = 0,629$$

Nous avions donné trop d'eau le premier jour.

Dans les deux expériences ci-dessus, les gazogènes alimentaient des moteurs à gaz, dont la puissance développée était variable d'un moment à l'autre ; elles ont été toutes deux coupées par des arrêts dont l'influence sur le feu a été plus ou moins fâcheuse.

Dans le second essai, le gazogène conserva son feu du samedi soir au lundi matin, soit durant trente-sept heures, en brûlant environ 2 kgr. 25 de charbon par heure, et le travail fut repris sans difficulté à la remise en marche du lundi.

Gazogène a chaudière incluse

Marche industrielle sur moteur et fours, à débit constant (A.W.).
Durée de l'expérience : 10 h. 10 minutes (sans arrêt).
Charbon maigre d'Ostricourt (matières volatiles : 8,6 p. 100).
Pouvoir supérieur : 7.861 calories.
Consommation horaire en sec : 62 kgr. 100.
Gaz : production horaire : 305,214 mètres cubes.
Pouvoir supérieur : 1.223 calories.

$$\text{Rendement } \rho = \frac{305,214 \times 1223}{62,1 \times 7861} = 0,76$$

Le même gazogène, essayé ensuite en marche industrielle, mais en débit plus réduit et moins constant, a fourni un rendement égal à 0,73.

Gazogène a chaudière séparée

Marche industrielle constante : élévation d'eau (M. E. Meyer)

Trois gazogènes, 2 chaudières et surchauffeurs.
Charbon : coke.

Composition	C	87,62	en poids.
—	H	0,81	—
—	S	0,72	—

Pouvoir supérieur : 7.247 calories.
Durée de l'essai : 10 h. 30 minutes.

Coke consommé par heure en gazogènes....	102 kgr. 4 .	
— — dans les chaudières	11 kgr. 2	
	113 kgr. 6	

Vapeur produite par kilogramme de coke : 6 kgr. 330.
Température de la surchauffe : 234°.
Gaz engendré par kgr. de coke : 4,270 mètres cubes.
Vapeur par kilogramme de coke : 0 kgr. 647.
Pouvoir supérieur du gaz : 1.254 calories.
Rendement $\rho = 0,738$.

Retenons de ces essais sur le coke, qu'on a constaté un réel bénéfice à marcher à allure chaude et à chauffer l'air introduit au gazogène.

Le diagramme de la figure 10 montre les conditions du fonctionnement d'un gazogène au coke avec chaudière séparée.

I Chaleur fournie: *a*, au gazogène ; *b*, à la chaudière.

II Chaleur en œuvre : la partie hachée *c* indique la perte à la chaudière

III Chaleur du gaz ; la partie hachée *d* représente la perte au gazogène.

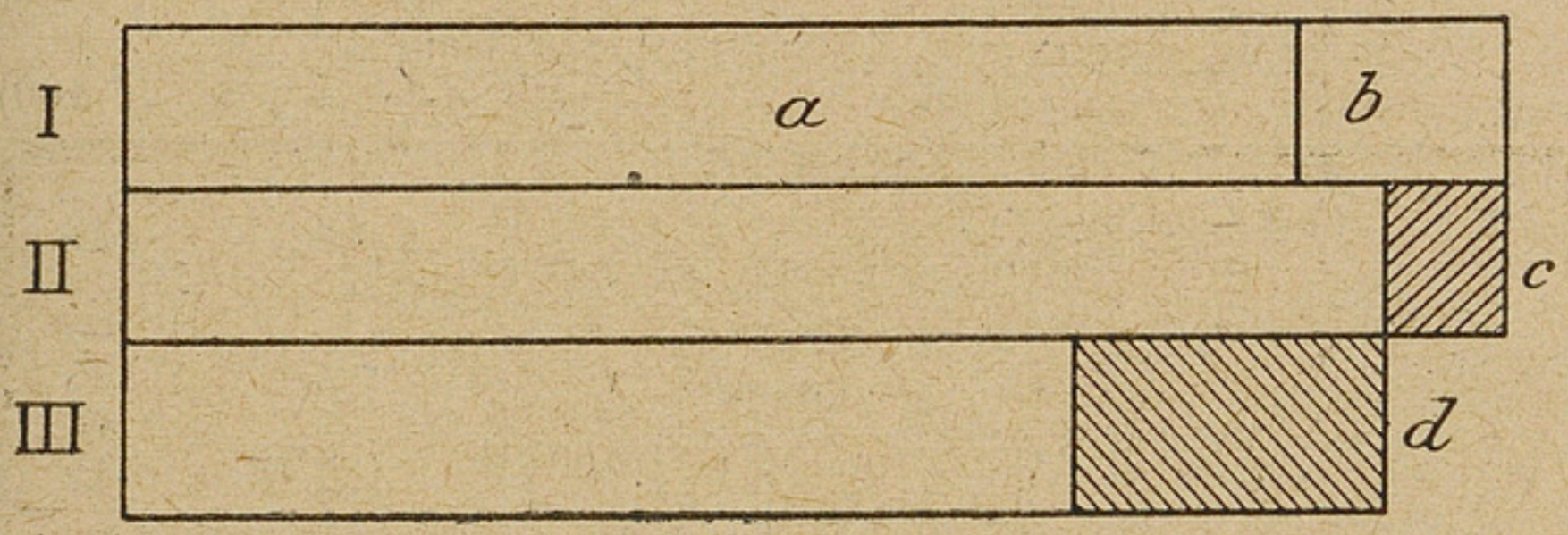


Fig. 10. — Diagramme du fonctionnement d'un gazogène au coke.

La perte par la chaudière est considérable si on la rapproche de son apport de calorique.

J'extrais d'un de mes ouvrages le tableau synoptique ci-dessous, dans lequel on trouvera d'intéressants et utiles rapprochements (1).

	COMBUSTIBLE	Chaleur totale du Combustible	Volume du gaz	Chaleur du gaz	Rendement
		calories	litres	calories	p. 100
Chaudière séparée	*Au gazogène :* 1 kgr. anthracite angl. *A la chaudière :* 0 kgr. 180 coke.....	9.496	5.040	7.376	77,8
Chaudière séparée	*Au gazogène :* 1 kgr. anthracite angl. *A la chaudière* 0 kgr. 140 coke	9.208	4.880	7.574	82,2
Chaudière incluse	*Au gazogène* 1 kgr. charbon anglais	7.225	4.351	5.854	81
Chaudière incluse	— à 76 % de carbone	7.943	3.866	5.989	75.4
Chaudière incluse	1 kgr. charbon maigre à 15 % de cendres..	7.200	4.761	4.680	65

(1) Witz. *Loc. cit.*, tome I, page 229.

Voici enfin les résultats du traitement de succédanés de la houille :

Combustible : Lignite du Rhin (Braunkohle)

Composition du lignite en poids	H	1,82	2,10	2,03
	C	28,86	30,99	29,78
	S	0,29	0,25	0,08
	Eau	60,18	52,55	53,95
	Az + O	9,21	11,44	11,98
	Cendres	4,61	2,57	2,18
		100,00	100,00	100,00
Pouvoir inférieur du lignite en calories		1.870	2.400	2.365
Composition du gaz en volume	H	12,5 %	15,0 %	13,0 %
	CO	24	25,0	27,0
	CO^2	8,5	8,0	7,5
Pouvoir inférieur du gaz en calories		1.100	1.250	1.250
Gaz par kilogramme de lignite		1.130	1.560	1.530
Calories du gaz		1.243	1.950	1.912
Rendement		66 %	81 %	80 %

Ces chiffres sont extraits d'un prospectus-réclame imprimé à Dusseldorf : l'humidité paraît nuire au rendement. La moyenne des trois rendements est de 76 p. 100.

Le bois donne aussi de bons résultats, quand on possède l'art de s'en servir. On a signalé une production de 914 litres de gaz à 1179 calories par kilogramme de bois humide.

C'est un peu vague et je passerai légèrement sur cette indication, de laquelle ressortirait un rendement de 54 p. 100 ; il ne faut pas le dédaigner, étant donné qu'il s'agit de déchets de bois, presqu'inutilisables autrement, permettant encore de recueillir des sous-produits qui ne sont pas sans valeur, dont nous ne faisons pourtant pas état. Ces récupérations devraient cependant entrer en ligne de compte dans un bilan économique.

Cette considération prend une réelle importance dans les grandes installations de gazéification des types Mond et Duff, dans lesquelles on traite des houilles bitumineuses, en vue de retrouver les goudrons et les produits ammoniacaux qui dis-

tillent avec les gaz. Même au point de vue uniquement thermique les résultats sont satisfaisants, ainsi que le prouvent les chiffres qui suivent :

Composition en poids.

Charbon bitumineux	C	62,69
	Matières volatiles	18,29
	Humidité	8,60
	Cendres	10,42
		100,00

Pouvoir calorifique supérieur : 6.786 calories.

Composition en volume.

Gaz engendré	H	29,0
	CO	11,0
	Carbures	2,0
	CO^2	16,0
	Az + O	42,0

Densité du gaz	0,788
Pouvoir supérieur	1.414 calories
Production du gaz par kgr. de charbon	3.749 litres.
Chaleur du gaz : 3,749 × 1.414 =	5.302 calories
Rendement thermique	78,1 p. 100

Ce rendement est extrêmement remarquable : nous devions le signaler. Mais il est aussi de notre devoir de dire que la qualité et la nature de la houille jouent un rôle considérable dans ces opérations de gazéification et de récupération. Encouragés par les beaux résultats annoncés par les Anglais, des ingénieurs ont essayé d'introduire ces procédés en d'autres pays, et de puissantes centrales ont été crées sur ce type ; le succès n'a pas toujours couronné ces tentatives de grand style, qui paraissaient néanmoins devoir réussir.

Je crois en avoir assez dit pour être autorisé à conclure.

Le gazogène à gaz mixte est en somme un excellent appareil industriel ; en marche courante, il donne au moins 60 p. 100 de rendement thermique ; ce rendement peut s'élever à 70, 80, voire même 82 p. 100, en traitant des combustibles que l'on essaierait vainement d'employer sur des grilles de chaudières. On ne calomnie pas les chaudières à vapeur en les plaçant en

dessous des gazogènes au point de vue thermique ; c'est tout au plus une médisance. Les gazogènes ont du reste un avantage marqué qu'il serait injuste de ne pas faire valoir : ils sont beaucoup moins tributaires des qualités de savoir, d'activité, de zèle de leur conducteur que ne sont les générateurs de vapeur de leur chauffeur. Dans les concours de chauffeurs institués dans le Nord, en Alsace, en Belgique et ailleurs, on a constaté des différences énormes entre les rendements obtenus par un chauffeur ou l'autre : je les ai déjà signalées, mais je crois devoir insister. Voici, par exemple, les écarts de rendements observés au concours de Liége, en 1905, entre un grand nombre d'ouvriers de la pelle et du ringard, qui n'étaient certainement pas les derniers venus de la corporation.

	Vapeur produite par kgr. de charbon	Rendement de la chaudière
	—	—
1er du concours	8 kgr. 502	70,79 p. 100
5e du concours.....	7 kgr. 344	52,43 p. 100
83e du concours.....	5 kgr. 925	49,48 p. 100

On n'a pas encore organisé de concours entre les conducteurs de gazogènes, mais le jour où on le fera, on sera loin de relever de pareilles divergences.

On m'a souvent demandé ce que je pensais de l'avenir de ces gazogènes. Sont-ils perfectibles ? Assurément. Le sont-ils beaucoup ? Consultons les valeurs des rendements génériques, qui sont le critérium dans l'espèce. Là où le calcul théorique donnait 0,87, l'expérience m'a fait trouver 0,60 ; d'où un rendement générique d'au plus 70 p. 100. Mais on a fait beaucoup mieux depuis lors. Pour un rendement pratique de 0,80, contre 0,87, le quotient générique est de 90 p. 100. Il n'est guère permis d'espérer mieux en suivant les anciens errements.

Mais on peut s'engager dans des voies nouvelles, notamment dans celle que je vais indiquer.

On se rappelle la théorie du gazogène ; c'est celle du cubilot. Il se forme d'abord du CO^2, qui produit ensuite du CO au contact du charbon incandescent. Or, en 1890, MM. Biedermann et Harvey ont imaginé de fournir directement CO^2 au gazogène afin de n'avoir pas à brûler du charbon dans la cuve

de l'appareil en vue d'obtenir ce gaz. Etant donné que CO^2 soit fourni gratuitement, le procédé breveté Biedermann et Harvey doit conduire à une économie appréciable, ainsi que nous allons le démontrer à la suite de M. Droit.

Acceptant en effet le chiffre de 8 calories pour la chaleur dégagée par la combustion complète de 1 gramme de C, nous observons que l'équivalent pesant 6 grammes développe 48 calories en donnant CO^2. Mais

C + O = CO dégage	14 calories
et CO + C = CO^2 en donnent.....	34 —
Total.....	48 calories

Le gazogène ordinaire ne débite donc en marche normale, par équivalent de C, qu'un seul équivalent de CO, valant 34 calories ; la perte est de $\frac{48 - 34}{48} = 29$ p. 100.

Cette perte peut être évitée et l'on réalise d'autre part encore un bénéfice supplémentaire en recevant CO^2 tout formé. Car supposons CO^2 en don gratuit ; pour décomposer CO^2 par C et obtenir 2CO, il faut céder 34 calories ; or, la réaction C + O = CO en donne 14 ; il ne reste donc que 34 — 14 = 20 calories à demanderà la combustion des deux équivalents de CO produits. Les calories disponibles sont par conséquent égales à 2 × 34 — 20 = 48. Comme on n'a dépensé qu'un seul équivalent de C, on gagne 48 — 34 = 14 calories ; le bénéfice est de $\frac{14}{34} = 41$ p. 100.

Il y aurait lieu de tenir compte dans ce calcul des chaleurs spécifiques des gaz entrants et sortants, mais cela nous entraînerait trop loin, et ne modifierait guère ces résultats.

La maison Siemens a exploité ce brevet, mais les espérances que l'on avait conçues ont été trompées ; c'était à prévoir, attendu que l'on retournait au gazogène des gaz brûlés renfermant 12 d'acide carbonique pour 88 d'azote et déjà refroidis.

J'ai essayé d'éviter l'effet de cet excès d'azote en proposant d'alimenter des moteurs à l'oxygène pur et de diriger les gaz

---

(1) *Revue industrielle*, n° du 15 février 1896.

brûlés sur un gazogène chargé au coke ; au contact de la colonne de carbone incandescent, CO^2 se réduirait en donnant CO, et la vapeur d'eau se dissocierait en produisant H. Les calories nécessaires à ces réactions endothermiques seraient fournies nar les gaz chauds et la cuve serait maintenue à une température élevée. Cette pratique conduirait à une notable économie de combustible étant donné que la colonne réductrice ne subirait qu'une légère diminution de température ; les chaleurs perdues à l'échappement, qui figurent pour près de 30 p. 100 au passif du bilan des moteurs, seraient récupérées ; enfin la force vive de la décharge serait utilisée pour produire la circulation dans le cycle fermé constitué par le gazogène et le cylindre moteur, et le secours apporté par elle à l'aspiration du moteur compenserait sans doute la perte résultant de la contre-pression exagérée, produite par l'introduction des gaz de l'échappement dans la cuve, plus ou moins obstruée par le combustible qu'elle renferme. Mon idée avait été accueillie avec faveur par quelques constructeurs, mais le temps m'a manqué pour la mettre au point et maintenant je n'ai plus assez de forces et d'initiative pour entreprendre ce travail. Il deviendra de jour en jour plus aisé, au fur et à mesure que l'oxygène sera devenu plus abondant dans l'industrie et moins coûteux (1).

Hauts-fourneaux. — *A priori*, un haut-fourneau est un appareil thermique médiocre, car il devrait suffire de 2.300 calories pour tirer un kilogramme de fonte en fusion d'un minerai en Fe^2O^3, et l'on consomme pour le moins 800 grammes de coke à 7.500 calories, soit 6.000 calories. Mais ces 3.700 calories excédentes ne sont pas perdues, car on en retrouve la majeure partie dans les gaz recueillis au gueulard ; on en emploie une fraction pour le service même du fourneau et on dispose du reste d'une manière fort avantageuse, ainsi que nous allons le faire voir.

Dressons d'abord le bilan thermique des opérations qui s'accomplissent dans le fourneau.

---

(1) Witz. Les récupérations de décharge dans les moteurs à combustion interne : *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, 29 novembre 1909.

Un premier calcul sommaire conduit aux chiffres ci-dessous.

Admettons que, sur les 6.000 calories du coke, la combustion incomplète en CO fournisse le calorique nécessaire à la fabrication de la fonte, tandis que le reste, brûlé en CO^2, passe dans les gaz ; la proportion est égale à $\frac{2.454}{8.138} = 0{,}30$. Sur les 70 p. 100 du gaz, le chauffage du vent et les autres appareils accessoires absorbent 40 ; d'où une disponibilité de 30 p. 100. Le métallurgiste, qui ne se préoccupe que de la fonte, estime que le fourneau rend 70 p. 100 ; mais si le fourneau n'était qu'un gazogène, son rendement ne saurait être évalué à plus de 30 p. 100.

On fait quelquefois le calcul suivant ; le fourneau donne 4.500 litres de gaz à 950 calories, dont 2.400 restent à la libre disposition de l'usine ; l'équivalence thermique est de $950 \times 2{,}4 = 2.280$ calories. Rendement $= \frac{2.280}{7.500} = 30{,}4$ p. 100.

Le résultat est le même que ci-dessus.

Mais il convient de serrer la question de plus près. La *Rundschau* a donné en 1900 un schéma de l'utilisation des calories dans un fourneau de 240 tonnes, indiquant la répartition de 100 calories dans la série des opérations.

100 calories	Consommées dans le fourneau : 52	Vaporisation de l'eau	5
		Réduction du minerai	24
		Rayonnement	5
		Scories et laitiers.....	14
		Chaleur interne de la fonte.	4
	Chauffage du vent 28 — 14 = 14 calor.	Retournées au fourneau....	14
		Perdues sans retour	14
	Services auxiliaires: 9	Soufflantes	5
		Machines diverses	4
	Gaz disponibles $\frac{25}{100}$.		

Ces gaz, brûlés sous des chaudières, permettent de développer une puissance de 1.000 chevaux environ ; par utilisation directe en moteurs à gaz, on obtient le triple. Ce peu de mots établit l'immense valeur prise en ces dernières années par les hauts-fourneaux considérés comme gazogènes. On a pu s'étonner plus haut de m'entendre dire que le haut-fourneau est le roi des ga-

zogènes ; il me semble que l'enthousiasme dont je témoignais est pleinement justifié.

Les Allemands ont plus vite compris que nous le double rôle du fourneau, et leur sidérurgie avait installé à la veille de la guerre quelques centaines de moteurs au pied de ces gazogènes géants, développant environ 600.000 chevaux effectifs. Les Américains les suivaient de près. Par contre, la France et, le croirait-on, l'Angleterre, sont entrées tardivement et mollement dans le mouvement. Trois maisons de construction seulement s'étaient vouées chez nous à cette spécialité : le retour de l'Alsace à la mère-patrie nous en fait retrouver une nouvelle, qui contribuera sans doute-à doter nos établissements de l'Est, ressuscités et reconstitués, des compléments indispensables pour la meilleure utilisation des gaz de hauts-fourneaux.

CHAPITRE VI

LA CAPACITÉ DES GAZOGÈNES

La capacité d'un gazogène est définie, soit par le poids de combustible qu'il est *capable* de gazéifier, soit par le volume de gaz qu'il est *capable* d'engendrer.

Ces deux caractéristiques ne sont pas indépendantes l'une de l'autre, mais elles ne varient cependant pas proportionnellement, attendu que les dimensions de l'appareil ne sont pas le facteur unique des résultats obtenus ; la qualité du charbon employé en est un autre, non moins opérant, et la manière de se servir du gazofacteur intervient elle-même très activement. Mais il est impossible de ne pas mêler ces diverses considérations qui s'enchevêtrent et ne permettent pas toujours une séparation logique des idées ; nous nous verrons donc obligé de les mener de front, en prêtant toutefois une attention plus grande au volume des gaz produits.

I. — LE VOLUME DES GAZ ENGENDRÉS

Nous ne dirons qu'un mot du volume des gaz obtenus par distillation.

On s'est servi longtemps des cornues horizontales chargées à la pelle ou à la cuiller ; les machines à charger ne sont entrées

(1) Voir l'étude de M. Marquisan, *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, 1er semestre, 1908.

qu'assez tard dans la pratique courante, et cette méthode eut quelque peine à se généraliser, car on considérait qu'une répartition convenable de la houille s'obtenait mieux avec des chauffeurs habiles et exercés que par n'importe quel mécanisme, et que la distillation était meilleure. En outre, le système des petites charges abaissait moins la température des cornues et rendait davantage. La cornue inclinée de Coze, imaginée en 1885, de 6 mètres de longueur, augmenta considérablement la production unitaire. Une objection subsistait toujours ; il restait un espace libre au-dessus de la houille et, en chauffant celle-ci à une température toujours plus élevée, on exposait les gaz et les vapeurs distillés à subir une décomposition pyrogénée désavantageuse. Pour éviter cet inconvénient, on en vint aux cornues verticales, qui permettent un remplissage complet ; l'adoption de cette disposition a permis enfin de réaliser un système de marche continue ; le chargement s'effectue à intervalles rapprochés, par petits paquets, et le coke est évacué également d'une façon continue.

L'intensification de production réalisée en ces dernières années pour les usines à gaz est remarquable. A Mariendorf, sept fours de douze cornues verticales débitent chacun 416 mètres cubes par vingt-quatre heures.

On a réalisé de grandes économies sur la main-d'œuvre ; le rendement journalier par ouvrier était de 540 mètres cubes, avec les cornues horizontales, de 1.880 avec les cornues inclinées et enfin de 4.350 mètres avec les cornues verticales.

Les cornues verticales coûtent moins à chauffer et donnent plus d'ammoniaque.

En introduisant de la vapeur lors des deux dernières heures de distillation, on arrive à obtenir près de 38 mètres cubes par 100 kilogrammes de charbon de la Ruhr ; le pouvoir calorifique est encore de 5.147 calories au mètre cube.

M. Kœrting a fait produire 37,57 mètres cubes dans des cornues de 5 mètres.

La cornue inclinée et la cornue verticale tendent à être supplantées par la cornue à chambre, qui en dérive directement et ne diffère plus guère d'un four à coke. Celui-ci de son côté a évolué vers la cornue. Aujourd'hui, en Amérique, on installe

des usines à distillation (on dit carbonisation) dans le voisinage des grandes agglomérations ; le travail dure trente-quatre heures : le produit des quatorze premières heures est consacré à l'éclairage, le reste, après récupération du benzol et de l'ammoniaque, est employé au chauffage des fours. Ce reste correspond aux 28 centièmes des calories totales.

Passons aux gazogènes à l'eau. Le volume de gaz produit dépend évidemment de la durée relative des périodes d'insufflation d'air et d'injection de vapeur ; à cet égard, de grands progrès ont été réalisés, attendu que la première peut être réduite à deux minutes, alors que la seconde a pu être prolongée durant huit minutes. Le débit d'un appareil donné dépend surtout de la quantité de vapeur qui passe sur le charbon incandescent. Il semble que le système dans lequel on fonctionne en gaz à l'air, pendant la phase de soufflage (type Strong), doive fournir en somme plus de gaz combustible.

Mais ce sont les gazogènes au gaz mixte qui arrêteront le plus longtemps notre attention.

Un des plus importants problèmes pratiques à résoudre par les ingénieurs qui s'occupent de gazéification par ce procédé est le suivant ; quelles dimensions faut-il donner à la cuve d'un gazogène pour produire un volume déterminé de gaz à l'heure ? Cette question m'a été posée fréquemment ; j'ai toujours refusé d'y répondre, en déclarant que le diamètre et la hauteur d'une cuve dépendent de conditions si multiples qu'il est impossible de donner une formule générale de calcul. Et de fait, lorsqu'on compare les données de construction adoptées par les principales maisons qui fabriquent des gazogènes, on constate qu'elles semblent appliquer des règles très différentes pour établir les dimensions de leurs appareils, en vue de la production d'un volume de gaz déterminé possédant les qualités requises pour l'emploi qu'on en veut faire.

Mais s'il n'existe pas de formule précise pour calculer un producteur de n mètres cubes par heure, il y a cependant certaines considérations à présenter sur la question ; nous nous efforcerons de les déduire d'une étude rationnelle de la gazéification. Il m'arrivera de tomber dans des redites ; on me les pardonnera, en tenant compte de l'intérêt du sujet.

Le poids d'eau dissociable dans la fabrication du gaz mixte est calculable d'après ce que j'ai dit précédemment ; c'est celui qui peut être décomposé par les 2.454 calories résultant de la combustion incomplète, en CO, du carbone du combustible. Etant donné qu'un kilogramme d'eau absorbe $\frac{34.500}{9} = 3.833$ calories, on dissociera $\frac{2.454}{3.833} = 0$ kgr. 645 d'eau. Le poids maximum que la théorie permette donc d'injecter par kilogramme de carbone pur serait de 645 grammes. La production de gaz serait dès lors d'environ 5 mètres cubes à 1.600 calories par kilogramme de carbone, et ce gaz serait composé de CO, H et Az.

Il n'en va pas ainsi en réalité pour nombre de raisons, et surtout parce que beaucoup de calories sont dilapidées de droite et de gauche ; la cuve en rayonne autour d'elle, le gaz en emporte avec lui qui ne sont pas récupérées, etc. ; aussi le rendement pratique est-il notablement inférieur au rendement théorique ; inutile de revenir sur ce point. Il en résulterait qu'on devrait injecter moins d'eau encore que le calcul ne nous l'a indiqué.

Mais nous avons raisonné jusqu'ici sur du carbone pur ; nos déductions seraient admissibles pour du coke ; elles ne le sont plus du tout pour de la houille, qui distille des produits volatils et consomme encore du calorique pour ce faire. On serait donc encouragé à réduire de beaucoup le poids d'eau injecté par kilogramme de houille, plus ou moins grasse. La pratique, il est vrai, montre qu'on introduit dans le foyer une proportion d'eau en vapeur beaucoup plus forte, et qu'on s'en trouve bien ; comment concilier ces conclusions contradictoires ? Une simple observation nous expliquera le mystère. La résistance opposée au mouvement de l'air, par la colonne de charbon incandescent qui remplit la cuve, oblige d'insuffler plus d'air qu'il n'en est requis strictement pour maintenir la seule combustion en CO ; il ne faudrait que 3,5 mètres cubes par kilogramme de combustible ; on en donne 5. Une partie de ce combustible se consume par suite en CO^2, dégageant beaucoup plus de chaleur, et cet excès de chaleur permet de dissocier beaucoup plus d'eau.

L'impossibilité de soumettre au calcul toutes les considérations que nous venons d'esquisser est manifeste. Il faut donc renoncer à fixer à l'avance les dimensions de l'appareil, qui fournira tant de mètres cubes de gaz à tel pouvoir et de telle et telle composition avec un charbon déterminé. Et l'on est obligé de demander à des procédés empiriques la solution de l'intéressant problème.

C'est ainsi que procèdent les constructeurs ; l'expérience leur a fait connaître, quelquefois au prix de rudes mécomptes, quelles dimensions conviennent à leur type de gazogène alimenté d'un combustible à x p. 100 de matières volatiles, y de cendres et z d'humidité, de criblage m, le mouvement des gaz étant obtenu par aspiration ou par insufflation, par injecteur ou ventilateur, sous une dépression ou une pression fixée. Ils ont créé des barèmes qu'ils apprécient d'autant plus qu'ils ont eu plus de peine à les établir et qu'ils dissimulent soigneusement à leurs concurrents. Il est à remarquer en effet que les prospectus plus ou moins illustrés, dont ils inondent leur clientèle, ne portent jamais de cotes et ne font pas connaître la section intérieure de leur producteur. Il est donc difficile de se documenter sur ce point, dont l'importance est pourtant si grande. D'ailleurs les dimensions qu'ils ont adoptées ont beaucoup varié aux divers âges d'une construction ; nous savons des maisons considérables et jouissant d'une réputation très justifiée, qui ont augmenté progressivement le volume des cuves de leurs gazogènes ; l'expérience acquise avait donc démontré que l'on était parti de dimensions trop réduites. L'inverse ne s'est pas produit souvent que je sache.

On se figurait au début que la capacité de production d'un gazogène était illimitée, au moins dans une certaine mesure, attendu que, disait-on, il n'y a qu'à souffler pour avoir du gaz et que, plus on souffle, plus il sort de gaz. Il est bien vrai que les producteurs sont des instruments très élastiques, mais encore ne faut-il pas en abuser. En faisant passer trop d'air à travers le foyer, nous l'avons dit ci-dessus, on active de plus en plus son ardeur ; on est amené ainsi à augmenter la dose de vapeur d'eau au détriment de la qualité du gaz et du rendement ; les carbures de la série éthylénique se décomposent lorsque la température

monte outre mesure ; il se forme des scories fondues qui donnent d'innombrables difficultés, rongent les grilles et les terres réfractaires et encroûtent la base de la cuve. Il faut donc craindre de faire des cuves trop petites. Par contre, il est inutile d'exagérer leurs dimensions sans nécessité, mais, à tout considérer, le trop est moins nuisible que le trop peu.

En conséquence de ce qui précède, il faut reconnaître que c'est une entreprise assez téméraire que de vouloir donner des règles de construction en vue de déterminer à l'avance ce que j'ai appelé la capacité d'un gazogène, pour laquelle l'expérimentation seule peut fournir une base sérieuse.

Lencauchez a donné à cet égard des indications dont il faut faire notre profit. Dans son *Etude sur les Combustibles* (1), il se trouve un paragraphe intitulé « Quantité de combustibles qu'un gazogène peut bien gazéifier » ; j'y copie ce qui suit.

« Cette quantité est des plus variables, suivant la forme des gazogènes et la nature des combustibles gazéifiés. Nous n'avons de renseignements précis que sur les houilles et les gazogènes à grilles inclinées... Un mètre linéaire de largeur de gazogène ne transforme en gaz que 1.000 à 1.500 kilogrammes de houille dite à gaz, en vingt-quatre heures, soit en moyenne 50 kilogrammes par heure. Il faut noter que le mètre linéaire de largeur de poitrine de gazogène peut offrir depuis 50 décimètres carrés de surface jusqu'à 2 mètres carrés, suivant le nombre de gradins ouverts et suivant que le gazogène est à sole ou à grille (de fond)... Cette surface est indiquée par la nature plus ou moins collante de la houille et par sa teneur en cendres. Il suit de là qu'il faut dire : un gazogène transformera en gaz 50 kilogrammes de houille à l'heure par mètre de largeur de poitrine et non par mètre carré de surface de grille...

« Pour les gazogènes alimentés au coke, la production est plus considérable ; ainsi ces appareils donnent du bon gaz de fourneau en gazéifiant 3.200 kilogramme de coke pour deux

---

(1) *Op. cit* : page 227. J'ai opéré quelques coupures, marquées de points et supprimé les lettres italiques, dont l'auteur avait coutume d'abuser.

mètres de largeur de poitrine, soit 1.600 kilogrammes par mètre linéaire, 66 kilogrammes par heure et par mètre de largeur ; cette gazéification peut encore être augmentée, si l'appareil a une grande hauteur et s'il permet une charge épaisse de coke...

« Les gazogènes (à superposition de fines grasses) peuvent gazéifier 75 kilogrammes par heure, soit en coke, soit en fines reçues dans des bacs cornues. La production d'un tel appareil est donc encore double de celle d'un gazogène ordinaire. »

Ces chiffres de l'éminent ingénieur donnent d'utiles indications sur la capacité de production des gazogènes à gaz Siemens spécialement adaptés au service des fours avec ou sans régénération de chaleur.

Les gazogènes en vogue aujourd'hui sont généralement à cuve cylindrique et le plus souvent destinés à alimenter des moteurs d'un gaz mixte, développé en injectant un mélange d'air et de vapeur.

Les données pratiques manquent relativement à ces appareils. En tenant compte de ce qu'a pu m'apprendre ma pratique, j'estime que l'on peut donner moyennement à la cuve du gazogène une section d'environ 15 centimètres carrés par mètre cube de gaz à produire à l'heure ; il s'agit de la section minimum prise au niveau de la zone incandescente (1).

La hauteur de la cuve est souvent prise égale à son diamètre, augmente d'un tiers.

Il est d'usage de diminuer légèrement les sections correspondantes au mètre cube de débit au fur et à mesure que la puissance des appareils s'élève. Je sais néanmoins des constructeurs qui sont partisans des grandes sections, même pour les plus fortes unités ; ainsi je connais des cuves de 2 mètres de diamètre donnant un débit moyen de 600 mètres cubes à l'heure, ce

---

(1) La consommation de gaz mixte ou pauvre par cheval heure effectif étant d'environ 3.000 litres dans les bons moteurs à gaz, il faudrait donc compter 45 centimètres carrés par cheval effectif de puissance ; c'est un chiffre moyen à appliquer avec sécurité à des machines d'une puissance de 30 à 40 chevaux, donc à des débits de 90 à 100 mètres cubes à l'heure ; on réduit ces dimensions pour les puissances supérieures.

qui correspond à un demi-décimètre carré de section par mètre cube. C'est un maximum évidemment.

Pour les petits gazogènes de 50 mètres cubes, que l'on a longtemps considérés comme voisins de la limite inférieure de puissance, la section serait donc de 7,5 décimètres carrés ; le diamètre mesurerait par suite 31 centimètres ; on ne peut guère tomber en dessous. D'autre part, le diamètre de 2 m. 50 pour 1000 mètres cubes paraît bien constituer une limite supérieure, qu'il est inutile de dépasser, et qui donne toute garantie de bon fonctionnement et de grande élasticité.

Comme la base de toutes ces indications est purement expérimentale, je crois utile de citer quelques chiffres, relatifs à des installations dont j'ai constaté le bon agencement

Débits horaires	Diamètres en millimètres
75 mètres cubes	350
100 —	500
150 —	640
200 —	700
300 —	900

Un mot enfin sur le débit des hauts-fourneaux.

Toute précision est impossible sur ce sujet, car le rapport entre la production et le volume intérieur d'un fourneau varie avec la richesse du lit de fusion d'une part et la difficulté plus ou moins grande que présente le minerai à la réduction, d'autre part avec la nature du combustible employé et celle de la fonte produite, la température du vent, etc.

La plupart des fourneaux au coke donnent 400 kilogrammes de fonte par mètre cube de volume ; on compte de 800 à 1.200 kilogrammes de coke consumé par tonne de fonte. Le volume des gaz engendrés est généralement de 4.500 litres par kilogramme de coke ; exceptionnellement, il atteint 5.250, à 0° et 760 millimètres.

II. — LA CONSTITUTION D'UN GAZOGÈNE

Avant d'entrer dans l'étude des détails des appareils et d'écrire la monographie de chacun d'eux, il me semble utile de tracer les grandes lignes de leurs installations respectives : une vue d'ensemble permet de mieux apprécier les avantages des dispositions prises pour assurer un fonctionnement correct des appareils eux-mêmes et pour rendre tous leurs produits utilisables.

Nous en avons assez dit des usines à gaz de ville, et nous avons déjà donné le schéma des appareils de récupération qui font suite aux fours à coke. Lorsque les gaz de ceux-ci doivent être employés à l'alimentation de moteurs, ils subissent une épuration physique et chimique qui est aussi minutieuse que celle du gaz de ville. On limite à 2 centigrammes le poids de goudron par mètre cube à la sortie des laveurs pour benzol : pour arriver à ce degré de pureté, on installe souvent des laveurs rotatifs à boules de bois, du système Zschocke, à liquides appropriés pour retenir goudrons, naphtaline, benzol, hydrogène sulfuré, cyanogène. On fait aussi grand emploi de la matière Laming et de ce minerai en fer des prairies que les Allemands appellent *Raseneisenerz*, sorte de limonite brune mêlée de matières organiques. En bien des installations, on voit à la suite des fours un barillet, des condenseurs, des laveurs et trois épurateurs en série : on donne par 100 chevaux de puissance habituellement 2 à 4 mètres carrés de surface aux cuves d'épuration.

On s'est bien trouvé de mêler de l'air aux gaz avant leur entrée aux épurateurs, dans une proportion de 2 centièmes en volume : on arrive par cet artifice à tripler la durée de campagne des matières épurantes entre deux revivifications ; de plus, on constate qu'il se produit une sulfuration de l'oxyde et une régénération de cet oxyde.

L'épuration des gaz de hauts-fourneaux est plus simple que celle des gaz précédents (2), mais les grands volumes sur les-

---

(1) *Vide supra*, page 000.

(2) J'ai étudié complètement cette question dans mon *Traité des Moteurs à gaz* et dans son supplément : *Dernière évolution du moteur à gaz*, page 98. Lencauchez s'est occupé de l'épuration des gaz de fourneaux dans de nombreuses publications.

quels elle porte donnent aux appareils mis en œuvre l'importance de petites usines. Ce sont surtout des poussières qui souillent les gaz de hauts-fourneaux : leur proportion est assez faible, quand on fait des fontes hématites avec des minerais durs en morceaux, ou mélangés de minerais pourprés (*purple ore*) mais elle devient énorme, lorsqu'on traite en allure chaude des matières friables et que le lit de fusion est plus calcaire, zincifère et manganésé. Dans la plupart des usines, la quantité de poussières varie entre 4 et 20 grammes par mètre cube, et elle a pu atteindre quelquefois 40 grammes. Elles sont formées surtout d'oxyde de fer, de silice, d'alumine et de carbone. Pour les appareils à chauffer le vent et les brûleurs de chaudières, la teneur en matières solides peut être à la rigueur de 5 décigrammes ; pour l'utilisation directe en moteurs, on n'admet pas plus de 2 centigrammes.

L'épuration se fait souvent en deux paliers ; au premier, on épure la totalité du gaz sorti des fourneaux à 5 décigrammes ; le second palier parfait l'opération jusqu'à 2 centigrammes, pour les moteurs.

La première chose à faire est de refroidir les gaz à leur sortie du gueulard : la précipitation de la vapeur condensée entraîne déjà avec elle une bonne partie des poussières. Ce refroidissement s'opère de lui-même en suivant les longues conduites qui mènent le gaz aux scrubbers et autres laveurs à injection, qui parachèvent la réfrigération. Ces laveurs, en particulier le laveur Bian, coopèrent avec les chambres à chicane et les filtres à sec et débarrassent le gaz de presque toutes les particules solides qui l'accompagnent : il est suffisamment propre pour les combustions, mais ne saurait être admis tel quel aux moteurs.

L'œuvre du second palier est beaucoup plus délicate. On y emploie soit les épurateurs à tambour, du système Theissen, soit les ventilateurs à injection d'eau : ils font de l'épuration dynamique et méritent le nom qu'on leur donne souvent de finisseurs. Beaucoup moins encombrants que les engins statiques du premier palier, ils coûtent aussi moins cher, mais nécessitent une dépense élevée de puissance motrice. Un Theissen absorbe quelquefois un demi-cheval par mètre cube traité à la

minute. Cet engin, très bien compris, se compose d'un tambour tournant autour d'un axe horizontal développant au moins 40 mètres par seconde à la périphérie. Il est muni de courtes ailettes, disposées de façon à donner au fluide un rapide mouvement de rotation combiné avec un déplacement axial. Le tambour est légèrement conique, ainsi que les quatre compartiments qui l'enveloppent ; l'eau chargée de poussières s'évacue par le bas de la machine.

Concurremment avec le Theissen, on emploie des ventilateurs

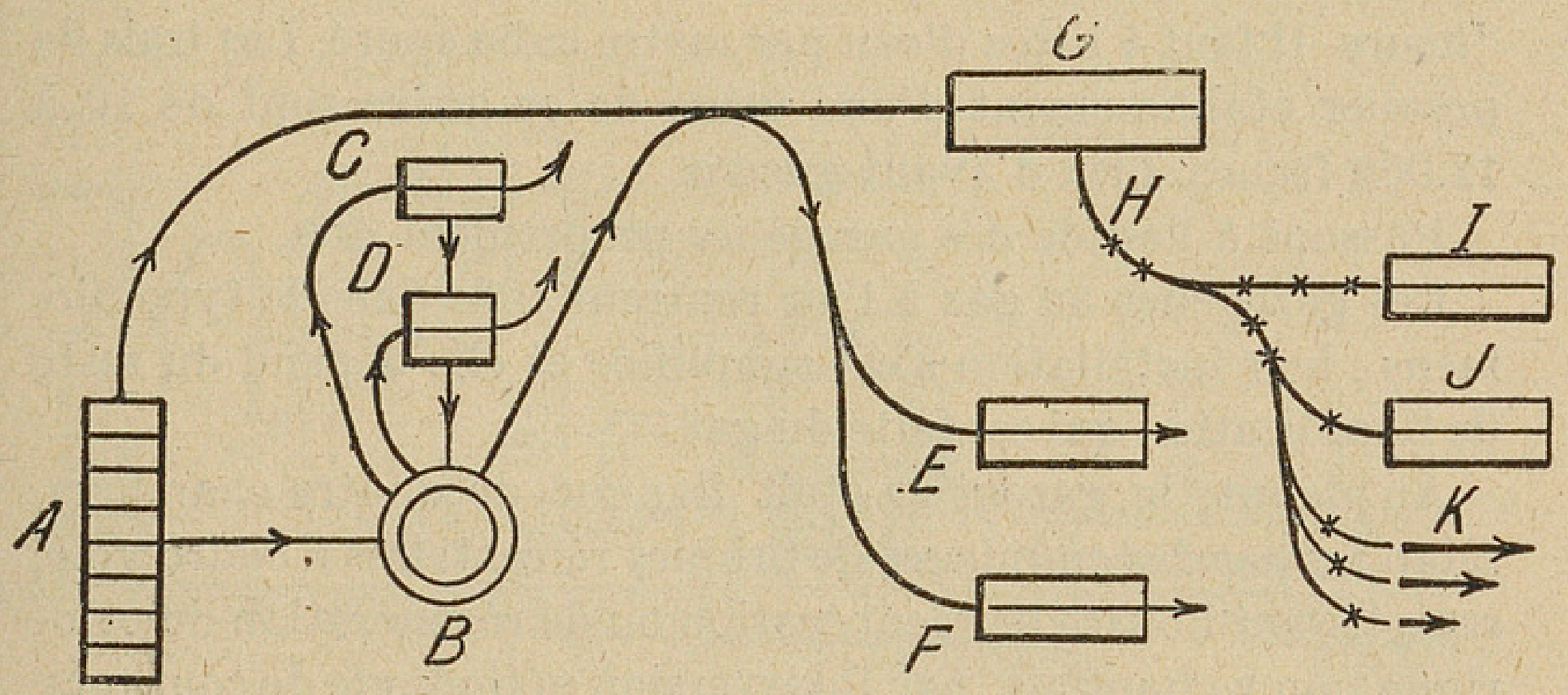


Fig. 11. — Station thermique sidérurgique.

à injection abondante d'eau par les ouïes. Le procédé était signalé depuis longtemps, mais entièrement oublié ; un heureux hasard, dont sut profiter un contremaître, judicieux observateur non moins qu'homme compétent, le remit en honneur un jour ; le contremaître n'eut pas l'idée de se couvrir par un brevet. Un mois après, dix inventeurs l'avaient fait pour lui, mais en ne prononçant pas son nom ; il est vrai qu'ils avaient perfectionné l'appareil. On installe souvent deux ventilateurs en série.

La figure 11 donne le schéma d'une installation de captation, d'épuration et d'utilisation des gaz de hauts-fourneaux. En A se trouvent les appareils préparateurs du premier palier, qui sont immédiatement utilisables pour le chauffage des Cowper, B, C et D ; ces gaz, nettoyés sommairement, peuvent aussi être employés pour le service des chaudières à vapeur E, et des

foyers divers F. Mais une grande partie va subir en G un finissage et alimente ensuite les moteurs à gaz, qui actionnent une Centrale d'électricité. Celle-ci distribue son courant en I, J et K pour la commande de soufflantes, de compresseurs d'air, de laminoirs et des machines de toute nature de l'aciérie, généralement adjointe aux fourneaux.

Quelques chiffres permettront d'apprécier l'importance de semblables installations. La puissance motrice nécessaire pour mettre en mouvement toutes les machines contribuant à l'épuation est de 20 chevaux pour le travail de 1.000 mètres cubes à 'heure. Il faut 4 litres d'eau par mètre cube épuré. Les frais de premier établissement d'une usine de ce genre sont de 10 à 12.000 francs, prix d'avant-guerre.

Passons à l'étude des gazogènes proprement dits.

Les gazogènes au gaz à l'air rentrent tous dans le type Siemens ; leur installation s'est simplifiée et elle dépend du reste de l'application qui est faite du gaz.

Au début, le gazogène était flanqué de quatre chambres, remplies par des empilages de briques réfractaires à claire-voie, remplissant l'office de récupération ou de régénération du calorique ; on y chauffait, par interversion périodique de courants, non seulement l'air comburant, mais le gaz combustible avant l'arrivée aux brûleurs. Il faut un certain temps de mise en train pour échauffer de telles masses de maçonnerie et atteindre les hautes températures ; aussi le système n'est-il recommandable que pour les opérations métallurgiques continues ou du moins prolongées.

Les régénérateurs sont souvent placés en sous-sol au-dessous des fours qu'ils desservent ; mais les constructions que nécessite ce dispositif ne sont pas toujours possibles, notamment quand le sol est à nappe d'eau, et l'on établit alors les récupérateurs au niveau des fours. Quelquefois on donne aux récupérateurs la forme de tours disposées aux deux extrémités d'un four, par couple de deux ; c'est le système anglais Batho, Dick et Bailey.

Il convient d'éviter que la vitesse du gaz ne dépasse une certaine limite et les sections transversales libres, c'est-à-dire la section des vides, ne doivent pas tomber en dessous de 1,25

mètre carré pour 100 kilogrammes de houille gazéifiée à l'heure.

Les fours Siemens marchent d'ordinaire par aspiration au tirage naturel, et ils nécessitent des cheminées de 35 à 40 mètres; on compte qu'il faut évacuer 20 mètres cubes à 300° par kilogramme de houille traitée.

Pour réduire les frais d'installation et d'entretien, on renonça à chauffer les gaz et l'on adossa les gazogènes aux fours : il ne fallait ainsi que deux régénérateurs. Mais les appareils d'inversion restaient dispendieux et l'on en vint à supprimer les

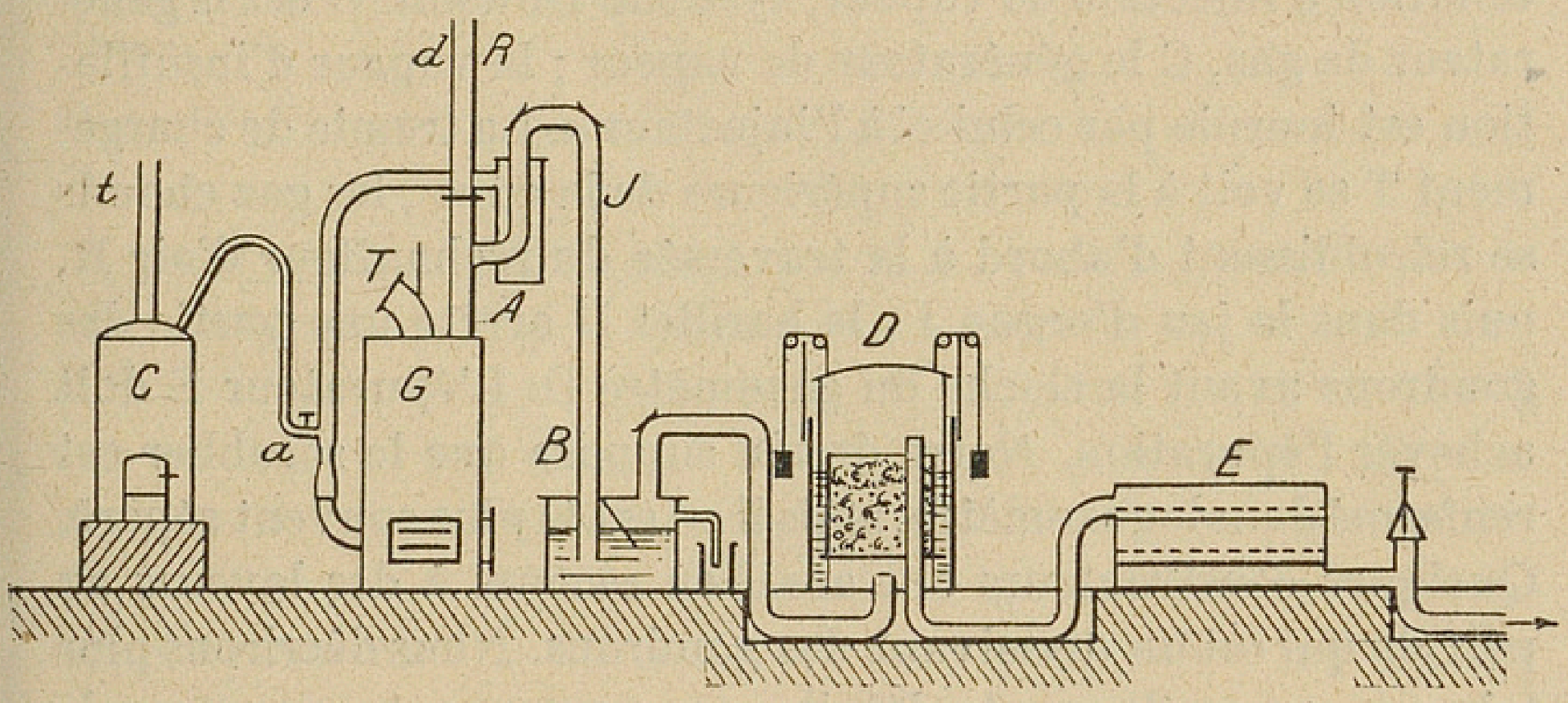


Fig. 12. — Schéma d'une installation Dowson.

régénérateurs ; les chaleurs des gaz brûlés étaient alors utilisées à des chauffages de chaudières ou autres, et l'on cherchait simplement à réchauffer l'air en le faisant circuler dans des carneaux parallèles aux conduites de départ des gaz chauds ; c'est le cas des fours Ponsard, Boëtius et Bicheroux.

Les applications du gaz à l'eau sont restreintes en métallurgie ; aux usines de Witkowitz, en Moravie, on l'a utilisé pour le soudage du fer ; on en a quelquefois aussi fait emploi dans des fours Martin.

Ce sont les gazogènes à gaz mixte, dits souvent à gaz pauvre, qui sont les plus répandus ; ils ont trouvé de nombreux clients pour la production de la puissance motrice, mais les producteurs ont dû s'adjoindre des appareils de refroidissement, de lavage et d'épuration des gaz qui ont quelquefois singulièrement compliqué les installations. Les gaz produits avec les anthracites de

première qualité entraînent quelquefois assez de goudrons pour créer de sérieuses entraves au fonctionnement des moteurs ; qu'on juge des ennuis qu'ont donnés les charbons anthraciteux et même demi-gras qu'on a depuis lors eu la prétention de gazéifier. Pour s'en rendre compte, il faut lire les nombreux mémoires de Lencauchez, qui ne cherchait pas à dissimuler les difficultés qu'il avait rencontrées et surmontées quelquefois.

On a été amené à constituer de véritables petites usines à gaz à côté des gazogènes. La figure 12 donne le schéma d'une installation à injection de vapeur, système Dowson. G est le générateur de gaz, C le générateur de vapeur ; la vapeur d'insufflation est fournie par celui-ci à l'injecteur *a*. La trémie de chargement T se voit à la partie supérieure de la cuve ; les gaz chauds se refroidissent d'abord à la traversée du réchauffeur d'air R, puis dans le jeu d'orgue J ; le barillet B arrête une partie des goudrons avant la cloche du gazomètre D. L'épurateur E doit achever l'épuration. Notre dessin suppose que le scrubber est renfermé dans le gazomètre, mais il en est le plus souvent séparé. Quelques constructeurs ont aussi eu recours à des laveurs au pétrole qui est un dissolvant des goudrons. Nous décrirons plus loin ces appareils par le détail ; nous nous en tenons pour le moment à une vue d'ensemble.

Les gazogènes à insufflation par ventilateur exigent des dispositions analogues.

Une installation de gazogène Mond, à récupération des goudrons et des produits ammoniacaux, comporte un plus grand nombre encore d'appareils auxiliaires ; on y trouve des laveurs mécaniques dans lesquels une couche d'eau est constamment remuée par des roues à aubes, qui arrosent copieusement la veine gazense qui les traverse. L'eau s'élève ensuite dans une grande tour, en rencontrant du sulfate d'ammoniaque acide, qui s'épanche hors de bassins formant chicanes. Des pompes mettent les eaux et les jus en mouvement et les font circuler méthodiquement en sens inverse du gaz.

Les dimensions relatives des divers engins de régénération de chaleur et de récupération des sous-produits dépendent de nombreux éléments parmi lesquels la qualité du combustible présente la plus grande importance ; je ne saurais entrer ici

dans cette étude, extrêmement complexe et ingrate. Je me contenterai de dire que, pour une gazéification de 100 kilo-

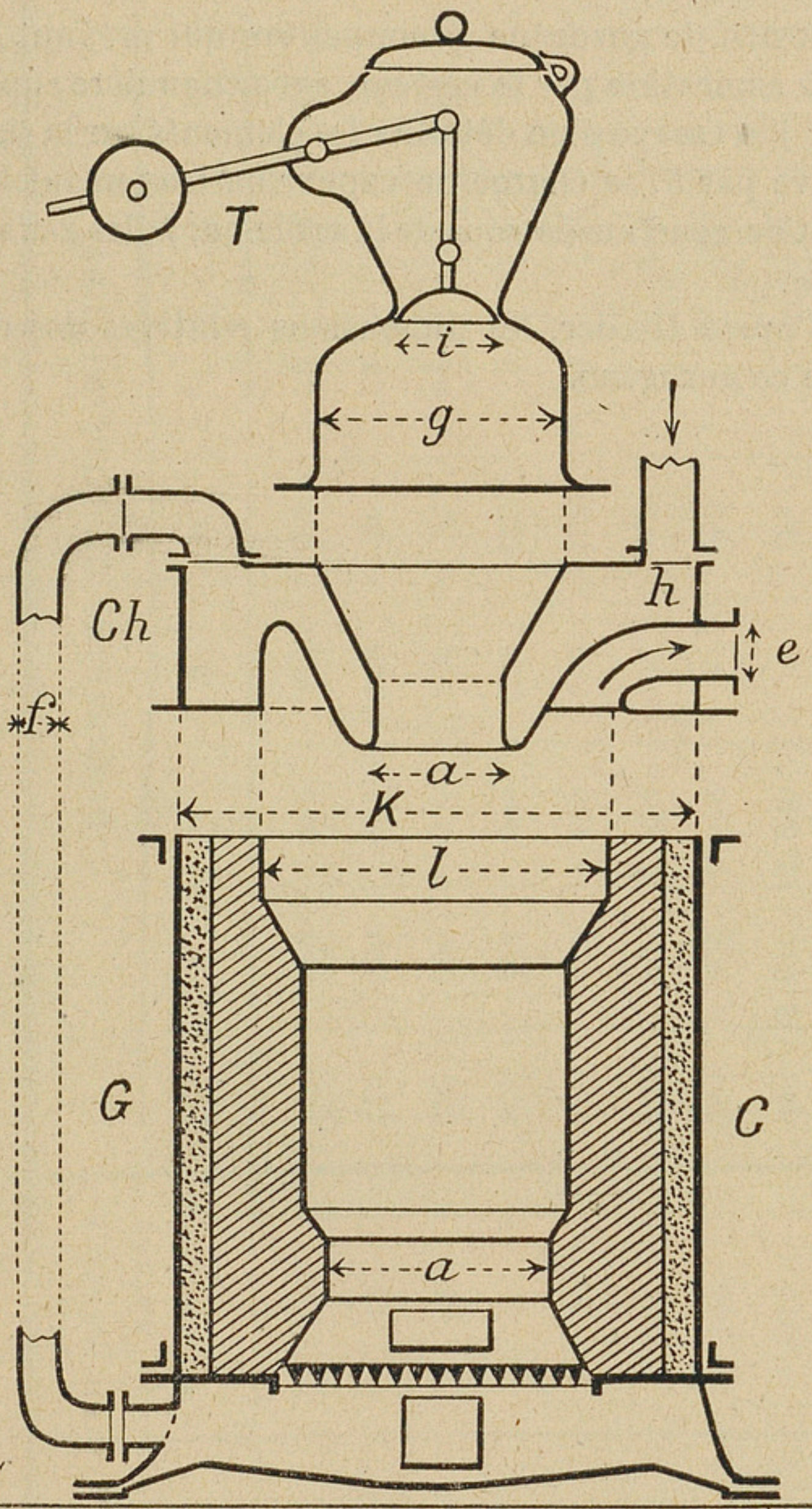


Fig. 13. — Constitution d'un gazogène à gaz pauvre.

grammes de houille par heure, il faut un scrubber de plus d'un mètre de diamètre et de 3 à 4 mètres de hauteur, et une surface

de claies épurantes d'environ 5 à 6 mètres carrés de surface. Les données correspondent à une puissance de moteurs de près de 200 chevaux effectifs.

Le dispositif de gazogène à paz pauvre qui prévaut aujourd'hui est à aspiration par le moteur, avec chaudière superposée à la cuve ; j'ai essayé d'en détailler les éléments sur la figure 13. L'air arrive par *h*, se charge de vapeur en traversant la chaudière C*h* et descend au-dessous de la grille par *f* ; les gaz s'échappent par *e*.

Voici d'après Hœder, les dimensions relatives des diverses parties de ce gazogène.

CHARBON EN KGR. par heure	PUISSANCE DU MOTEUR en chevaux	DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES								
		a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*
5,7	8	210	460	585	200	60	45	330	45	140
9,2	14	250	500	680	220	80	50	340	50	145
15	25	325	560	770	270	90	65	350	65	150
21	40	370	640	900	285	125	75	375	75	190
36	70	480	725	1.190	300	150	90	420	90	230
50	100	570	800	1.950	»	175	»	600	»	240
67	140	660	950	2.210	»	200	»	700	»	250
99	210	800	1.015	2.580	»	250	»	780	»	300

Pour les gazogènes d'une puissance supérieure à 100 chevaux, on emploie des chaudières multitubulaires, à tubes verticaux, entourés d'eau ; on peut adopter les dimensions ci-dessous :

PUISSANCE	NOMBRE DE TUBES	DIAMÈTRE DES TUBES	LONGUEUR DES TUBES	DIAMÈTRE du corps extérieur
		millim.	millim.	millim.
100 chevaux..	19	45	1.100	510
140 — ..	19	57	1.200	580
210 — ..	19	70	1.450	660

CHAPITRE VII

LA MONOGRAPHIE DES GAZOGÈNES

Il ne s'agit plus maintenant que de décrire un certain nombre d'appareils ; les uns méritent l'attention par leur originalité ; d'autres, par l'ingéniosité qui a présidé à leur réalisation : devront occuper la plus large place dans ce chapitre ceux qui se sont le plus répandus dans les établissements industriels et ont conduit aux meilleurs résultats. Il en est quelques-uns qui n'ont guère vu le jour que dans les traités spéciaux ou dans les collections de brevets ; une mention sommaire suffira pour signaler leurs possibilités d'existence et les rendements que l'admiration complaisante de leurs auteurs leur a prêtés.

On ne se fait pas une idée du nombre considérable de projets qui ont été conçus, et de brevets, dont on a payé les primes au moins une fois ou deux, juste le nombre d'années voulu pour qu'on ait eu le temps de parler d'eux, sinon de les soumettre au contrôle de la pratique. Dans deux petits volumes, d'une bonne centaine de pages chacun, M. Deutsch a réuni plus de 200 œuvres, dont les schémas ou les détails d'exécution sont représentés sur 214 figures ; ce sont surtout des inventions allemandes (1). Lencauchez, Letombe, Richard, Marchis, Deschamps et d'autres encore, parmi lesquels on peut me compter, ont donné la description d'un grand nombre de gazogènes, qui font une plus large part aux créations du génie

(1) Voir la bibliographie, insérée à la fin du volume.

français, anglais et américain. Ces diverses publications constituent une masse de documents, souvent curieux et intéressants, parmi lesquels je me suis efforcé de pratiquer une sélection aussi rationnelle que possible, en cherchant à être assez complet pour ne pas rester inférieur à la tâche, sans l'être trop, de peur de fatiguer le lecteur et d'abuser de sa bienveillante attention.

Pour mettre de l'ordre dans ce travail, j'ai rangé les monographies sous les rubriques ci-dessous :

Gazogènes par distillation ;
Gazogènes au gaz à l'air ;
Gazogènes au gaz à l'eau ;
Gazogènes au gaz mixte à tirage direct ;
Gazogènes au gaz mixte à tirage renversé et double cuve ;
Gazogènes spéciaux.

I. — GAZOGÈNES PAR DISTILLATION

Je serai extrêmement succinct sur ces appareils, qui sont bien des gazogènes (des gazofacteurs), mais appartiennent à un monde très spécialisé, qui ne prêtera guère d'attention à ce petit livre, je veux dire les *gaziers* et les ingénieurs de la métallurgie, surtout de la sidérurgie et des charbonnages. J'ai du reste déjà consacré assez de pages aux cornues des usines à gaz et aux chambres des fours à coke, pour qu'il me soit permis de me limiter à quelques descriptions d'engins plus particulièrement réputés.

1. **Cornue Bueb.** — C'est une cornue verticale à chargement et déchargement intermittents. La charge de chaque cornue est d'environ 500 kilogrammes de charbon passé au broyeur ; la durée de la distillation est de huit à dix heures, suivant les provenances de la houille. Une cornue produit par vingt-quatre heures 400 mètres cubes de gaz. La température la plus élevée se développe à la base.

On assemble généralement 10 cornues de 4 mètres de haut, dans un four chauffé par un générateur, complété par deux ré-

générateurs qui l'encadrent latéralement. Le coke sortant des cornues par le fond, tombe sur un entraîneur. On évite que le charbon ne colle contre la tête du bas en versant dans la cornue, avant d'y introduire la houille, une certaine quantité de fraisil de coke; la houille est du reste mêlée de gaillettes, qui ménagent des passages aux gaz. Un ouvrier placé au niveau supérieur du chargement et un autre en bas desservent aisément dix fours ; les fermetures inférieures sont commandées par un dispositif que le conducteur manœuvre de l'extérieur des fours.

2. **Cornue Woodall et Duckham.** — Cette cornue verticale a une forme tronconique ; elle porte à la partie supérieure un dispositif de chargement continu ; au bas, le coke est enlevé à mesure qu'il sort. Chargement et déchargement s'effectuent par petits paquets, d'une façon égale et continue, l'alimentation étant réglée par le débit du coke.

Ces cornues peuvent avoir 6,5 mètres de hauteur ; elles sont au nombre de quatre par four.

L'alimentation continue est faite par un tambour creux, tournant à l'intérieur d'un cylindre fixe, communiquant par le dessus avec la trémie à houille et par le bas avec la cornue ; ce tambour porte, sur sa périphérie, une ouverture par laquelle entre le charbon, quand cette ouverture se trouve en haut et à travers laquelle il passe dans la cornue quand la rotation l'a amenée en bas. Douze révolutions par minute, donc 6 déversements de 14 kilogrammes.

Un regard fermé par un boulet permet de remédier, par un coup de ringard, à un accrochage survenu dans la descente de la houille.

La partie inférieure de la cornue se prolonge par une tubulure à double fermeture pour empêcher toute rentrée d'air, au moment où l'on évacue le coke. La colonne de coke bute contre des dents fixées sur un tambour tournant, d'où la matière tombe dans un récipient cylindrique fermé. L'extinction s'obtient en envoyant de la vapeur qui engendre du gaz à l'eau.

A noter que c'est au sommet de cette cornue que se produit la température la plus élevée, de 1.300°, alors qu'il n'y a que 1000° au bas. Absence de naphtaline dans le gaz.

On a essayé de retourner une partie du goudron dans la cornue.

L'appareil que je viens de décrire supprime entièrement le travail de l'homme et c'est sa caractéristique intéressante.

3. **Fours à chambre de Munich.** — Le créateur de ces fours, c'est je crois M. Ries, avait pour objectif principal de se rapprocher des conditions de la fabrication du coke métallurgique en améliorant les appareils, surtout en évitant les rentrées d'air et en produisant un gaz de composition plus régulière. Pour cela, on remplit complètement le four à chambre pour réduire la décomposition des hydrocarbures et limiter la formation de la naphtaline. Enfin, on emploie sur place, pour les chauffages, une partie du coke, dont la vente est parfois si difficile ; la proportion du coke brûlé est d'environ 16 p. 100 de la production.

Les chambres ont la forme de grandes cornues inclinées, étroites et longues ; un élargissement ménagé à la partie supérieure sert de collecteur aux gaz formés. On les réunit par trois.

La combustion des gaz chauds s'opère au-dessus des murs qui séparent les carneaux de ces gaz de ceux des entrées d'air ; l'air de combustion a été chauffé préalablement par les gaz chauds avant leur départ. La face arrière du four, qui porte en haut l'ouverture de chargement et en bas une autre ouverture pour le fouloir à coke, est traversée par des carneaux qui permettent également de chauffer cette partie du four. Le coke sort en vertu de son poids, aussitôt que la porte inférieure est ouverte.

Cette porte, manœuvrée mécaniquement, est munie à l'intérieur d'un écran qui empêche le charbon de pénétrer dans la feuillure. La pression du charbon sur la porte est reportée sur l'ancrage du four. Il y a un barillet pour chaque four, avec trois tuyaux montants de large section. Le saumon n'adhère pas aux parois ; on accélère son mouvement en faisant agir par le haut un refouloir transportable.

La houille à distiller, réduite en morceaux d'environ 100 millimètres, arrive à la chambre par un entonnoir à bascule mobile;

le remplissage dure vingt secondes, et toute l'opération ne demande que trois minutes (1).

Chaque chambre contient près de trois tonnes de houille ; elle produit environ 3.000 mètres cubes par jour.

A Munich, cinq fours sont réunis dans un seul massif ; le service est assuré par quatre hommes répartis également sur les deux faces du four. Ils renouvellent les charges des quinze chambres en trois heures.

Des essais ont donné les résultats ci-dessous :

100 kilogrammes de houille ont produit :

Gaz à 0° et 760 millimètres.....	31 mc.
Coke séché à 300°	67 kgr. 88
Goudron	6 kgr. 19
Ammoniaque	7 kgr. 44

Le pouvoir calorifique du gaz a présenté une assez grande régularité ; de 6.000 calories au début, il a baissé lentement jusqu'à 4.000.

La température dans les carneaux a été trouvée en moyenne voisine de 1250°.

Ces chambres ont été installées dans un bon nombre d'usines à gaz allemandes ; la compagnie du gaz de la banlieue parisienne avait construit, avant 1914, deux batteries de 30.000 mètres cubes chacune.

4. **Fours Parsy.** — En France nous construisons surtout aujourd'hui les fours Parsy, à chambres horizontales de 6 mètres de longueur, qui permettent un enfournement et un défournement qu'on ne peut réaliser avec la même régularité dans les chambres inclinées ; le service en est simple, par une équipe travaillant huit heures ; l'équipe de nuit est supprimée. Le coke obtenu a des qualités voisines de celles du coke métallurgique. MM. Parsy et Cie garantissent une durée de leurs fours

---

(1) Dans sa communication aux ingénieurs civils, M. Marquisan a montré à ses auditeurs des dessins, qui ont été reproduits dans l'article déjà mentionné des *Mémoires*, 1908, 1er volume, page 651.

supérieure à celle des fours à cornues et des chambres inclinées.

Le gazogène, alimenté au coke, est accolé au four, et il marche à récupération. La houille est servie aux chambres par des trémies supérieures ; le défourneur refoule le coke sur une aire inclinée, d'où il tombe dans des wagonnets. Les halles de distillation, modèle 1918, semblent réaliser tous les desiderata de l'industrie gazière.

5. **Fours Appolt.** — Nous avons été conduits par une transition naturelle aux fours à coke proprement dits, qui ont pris un si grand développement en sidérurgie. Nous manquerions à notre programme en n'en décrivant pas quelques-uns, mais nous le ferons brièvement, en nous bornant à tracer les grandes lignes de ces installations souvent grandioses.

L'ancien four de boulanger est presque entièrement abandonné, sauf en Angleterre et en quelques districts de la Haute-Silésie et de la Westphalie. C'est une chambre voûtée ronde ou ovale, munie à la partie inférieure de deux portes de chargement et de déchargement et, au sommet, d'une ouverture pour le départ du gaz. On chauffe le four d'abord en y brûlant un combustible ; quand les parois sont rouges, la charge de houille est introduite ; l'air resté développe une certaine combustion, qui maintient le four en chaleur. Mais le rendement est médiocre et le coke peu dense.

Les fours Appolt, inventés en 1854, sont constitués par des chambres verticales, étroites, chauffées par l'extérieur comme une cornue par la combustion d'une partie des gaz dégagés par la houille en traitement. La largeur des chambres varie de 0 m. 40 à 1 mètre ; elle est d'autant moindre que la houille est plus collante. Sa hauteur dépasse 5 mètres. La section est rectangulaire. On les construit en briques réfractaires de formes spéciales, reliées entre elles par de grands carreaux. L'ouverture supérieure, par laquelle on charge, est fermée par un tampon luté ; celle du bas est bouchée par une porte en fonte, qu'il n'y a qu'à ouvrir pour vider le four. Chaque cornue reçoit 1.250 kilogrammes de houille ; on en réunit en batterie une vingtaine.

6. **Fours Coppée-Otto.** — Ce système de fours date de 1880, mais il a subi de nombreux perfectionnements, auxquels M. Otto a eu la plus grande part. On hésite à dire que les cornues sont verticales, attendu qu'elles mesurent 9 à 10 mètres de longueur sur 1 m. 80 de hauteur et 0 m. 60 de largeur. Afin que le défournement se fasse sans que les parois aient à subir un frottement trop considérable, on les construit légèrement divergentes. Chaque cornue est pourvue de trois trous pour le chargement que l'on ferme par des tampons pendant la carbonisation. Les portes sont en deux parties: la partie supérieure sert à égaliser la charge, la partie inférieure ne s'ouvre que pour extraire le coke. Toutes les cornues communiquent les unes avec les autres par des ouvertures ménagées à travers les cloisons mitoyennes, indépendamment des carneaux: cette disposition répartit uniformément les pressions, et les cornues qui ont un excès de gaz en fournissent à celles qui en manquent.

Les gaz sortent par des ouvertures au nombre d'une trentaine, ménagées dans une des longues parois et régulièrement espacées ; ils sont reçus dans un collecteur horizontal, puis ils descendent par autant de carneaux verticaux et arrivent sous la sole dans une galerie où ils se mélangent; une cheminée les évacue à l'air.

Le grand nombre de parois verticales qui viennent s'appuyer sur les parois des cornues, en même temps que la forme des briques qui les composent, constituent un ensemble d'une grande solidité et permettent de réduire à une mince épaisseur les murs des cornues, sans les exposer à être déformés par le foisonnement des houilles ; ces parois, qui n'ont que 10 centimètres d'épaisseur, transmettent très bien la chaleur et contribuent à développer dans le bloc cokifié une très haute température.

A ces fours sont ordinairement adjoints des appareils de récupération extrêmement développés. Les gaz sont aspirés hors des cornues, puis ils passent par l'atelier de condensation et de purification, et reviennent ensuite aux fours dans une galerie qui a la hauteur d'un homme. Des brûleurs Bunsen puisent le gaz dans cette galerie et l'amènent dans des carneaux verticaux, ménagés dans l'épaisseur des cloisons mitoyennes

des cornues. L'air aspiré par les brûleurs s'est réchauffé en circulant dans l'épaisseur de la maçonnerie des voûtes. Le chauffage ne consomme qu'une partie du gaz sortant des laveurs ; le reste est utilisé sous des chaudières à vapeur et en moteurs à gaz.

Les fours actuellement en service présentent sur ceux du passé l'avantage de donner un coke plus dense et doué d'une plus grande résistance à l'écrasement, double qualité appréciée en métallurgie : le coke provenant des fours de boulangers avait une résistance d'au plus 44 kilogrammes par centimètre carré ; le coke du Coppée présente une résistance d'au moins 80 kliogrammes.

GAZOGÈNES AU GAZ A L'AIR

L'étude de ces appareils présente peut-être un intérêt surtout rétrospectif, mais cet intérêt reste malgré cela très grand, parce que c'est par la gazéification à sec que l'on a débuté ; les premières idées émises ont été fécondes et les premiers essais ont contribué à établir les théories fondamentales de cet art, que nos contemporains ont si grandement perfectionné.

On ne saurait assez redire que le premier gazogène réalisé a été le haut-fourneau : c'était un gazogène à l'air. On ne s'en douta que de longues années après sa création, ainsi que je l'ai raconté plus haut.

Je ne décrirai pas le haut-fourneau et n'expliquerai pas ce qu'on appelle gueulard, étalages, ouvrage, creuset, dame et trou de coulée: on commence par tout remplir de combustible, on y met le feu, et l'on souffle ; on n'ajoute de minerai que lorsque la température est devenue suffisante et l'on charge alors alternativement du minerai, du fondant et du coke. La nature du fondant dépend de la composition de la gangue ; pour une gangue siliceuse, il faut une addition de castine, c'est-à-dire de carbonate de calcium ; pour une gangue calcaire, des matières siliceuses, de l'erbue. Il se forme dans le creuset du laitier fondu, que l'on fait couler en enlevant le tampon d'argile qui obture le trou de coulée. Le laitier surnage la fonte, car il est moins dense. Avec le même minerai, le même fondant et le

même combustible, on peut obtenir de la fonte grise ou de la fonte blanche ; cela dépend de la température à laquelle se fait la réduction. La fonte grise peut être employée directement, en première coulée, au moulage de pièces diverses, mais le plus souvent on la refond dans de petits fourneaux à cuve, dits cubilots (*cupola furnace*, *Kupelofen*), que l'on souffle par tuyères comme les hauts fourneaux ; mais l'opération n'a plus d'autre but que de fondre le métal et d'autre utilité que d'opérer des mélanges. On fait des cubilots de 4 à 6 mètres de hauteur au-dessus des tuyères, ayant de 1 m. 20 à 2 mètres de diamètre intérieur. Le profil intérieur de ces appareils varie beaucoup : c'est quelquefois un simple cylindre, mais on le termine souvent par un cône, posé sur sa large base ; quelques fondeurs estiment qu'un rétrécissement de la partie inférieure est utile pour que l'air pénètre plus facilement au centre. On a aussi donné à la section des cubilots une forme elliptique ; dans ce cas, les tuyères sont placées parallèlement au petit axe. Mentionnons enfin que le cubilot américain de West est à soufflage central : le vent est amené au cœur de la zone de combustion par un tuyau vertical, surmonté d'un champignon, répartissant la veine d'air en tous sens.

Tous ces détails devaient être rappelés, attendu que le haut-fourneau et le cubilot ont servi de types aux premiers gazogènes.

Gazogènes Ebelmen et Thomas et Laurens. — Je joins la description de ces deux appareils, parce qu'ils présentent les mêmes dispositions générales, et que je ne saurais dire en quoi ils diffèrent.

On retrouve sur la figure 14 tous les éléments du haut-fourneau et, ce qu'il est curieux de noter, les descriptions annexées aux spécifications des brevets reproduisent tous les termes usités en métallurgie, gueulard, creuset, dame, etc.

Le charbon est chargé par la trémie T à double fermeture, par un couvercle et un registre R : les morceaux descendent par G et remplissent le cône renversé jusqu'à l'ouverture qui donne issue aux gaz par A. Les tuyères sont en D.

Thomas et Laurens substituèrent au registre un cône, analo-

gue à celui qu'ils proposaient en même temps pour la fermeture du gueulard des hauts-fourneaux.

La hauteur de ces gazogènes variait de 1 à 3 mètres ; la plus petite pour le charbon de bois, la plus grande pour le coke.

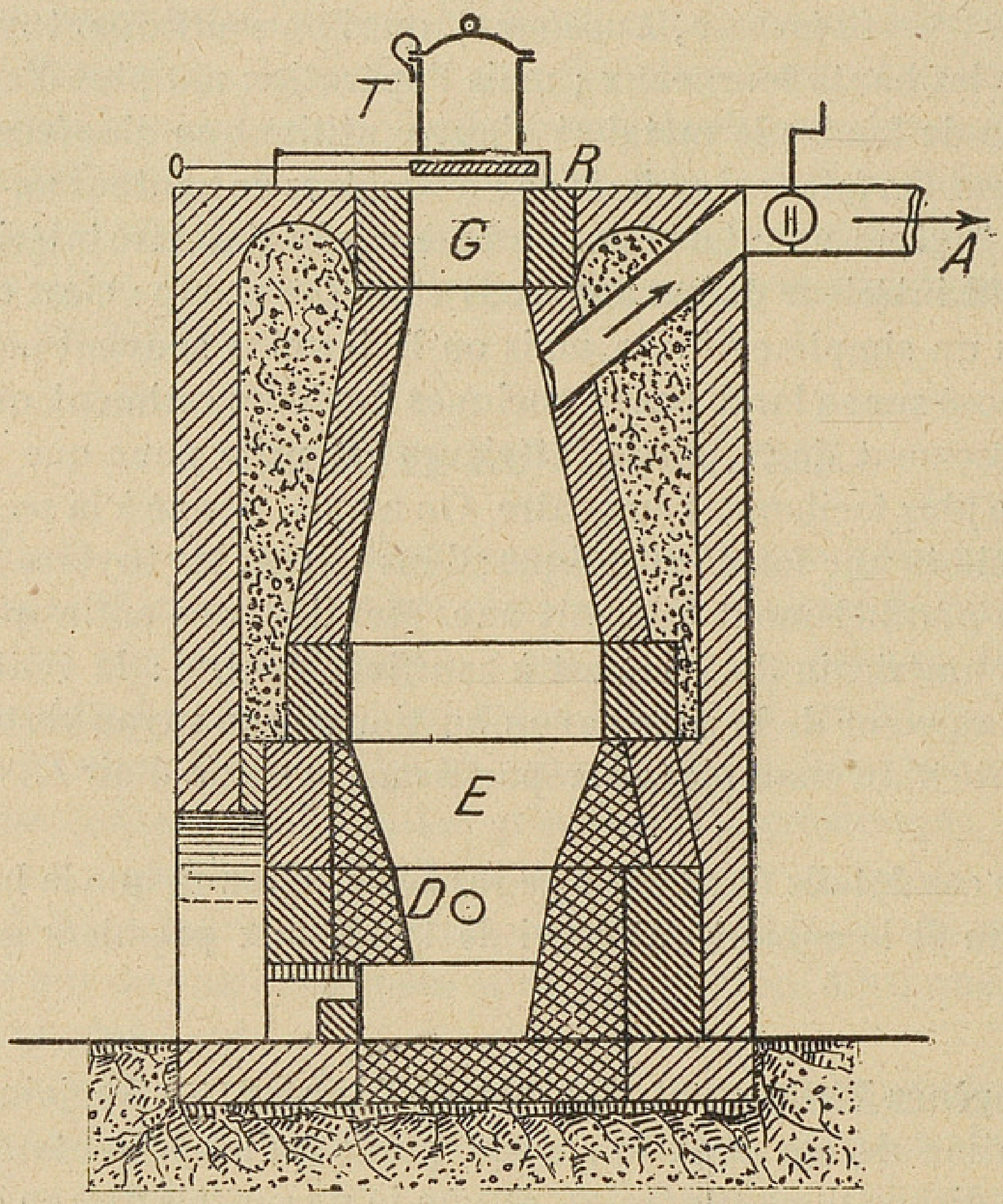


Fig. 14. — Gazogène Ebelmen.

Les inventeurs se proposaient de traiter le bois, les fraisils, la tourbe, les anthracites, toutes les houilles sèches, et leur ambition s'étendait même aux demi-grasses, à condition qu'elles ne se boursoufflent pas trop : on les mélangeait du reste de coke.

Thomas et Laurens imaginèrent de surmonter leur appareil d'une sorte de four horizontal, dans lequel ils soumettaient préalablement à la distillation les houilles trop grasses à leur gré ; une fois débarrassées de leurs produits collants, on brisait au

ringard les blocs agglomérés et on les poussait dans la cuve verticale. Ce dispositif a été *réinventé* plus tard par d'autres, qui semblaient bien croire qu'ils avaient été les premiers à y recourir : nous aurons souvent l'occasion de présenter par la suite la même remarque, mais nous laisserons au lecteur le soin de le faire. Il y aura toujours des gens qui découvriront la Méditerrannée. Ajoutons encore que Thomas et Laurens chauffaient l'air comburant admis au four par récupération des chaleurs perdues.

Ebelmen a fait d'intéressantes expériences sur son gazogène. En employant de la tourbe, il a reconnu que les deux tiers seulement de l'oxygène étaient transformés en oxyde de carbone, d'où il a conclu que le charbon de tourbe n'agit pas sur l'acide carbonique aussi bien que le charbon de bois. Il a aussi établi qu'il convient de donner plus de hauteur à la colonne de coke qu'à celle de charbon de bois.

Le gazogène établi à Audincourt et alimenté de fraisil de charbon de bois avait fournie d'excellents résultats pour le réchauffage du fer : il est intéressnt de noter la composition des gaz engendrés.

	Composition	
	En volume	En poids
	—	—
H	2,8	0,20
CO	33,3	33,74
CO^2	0,5	0,80
Az	63,4	65,26
	100,0	100,00

Avec le coke, Ebelmen relevait les teneurs ci-dessous en volume :

H	1,47
CO	33,54
CO^2	0,73
Az	64,10
H^2S	0,16
	100,00

En citant ces chiffres, je veux rendre hommage au mérite des premiers constructeurs de gazogènes.

Gazogène Bischof (1). — Voilà un autre initiateur qui a pris une grande part à la gazéification des combustibles solides : les

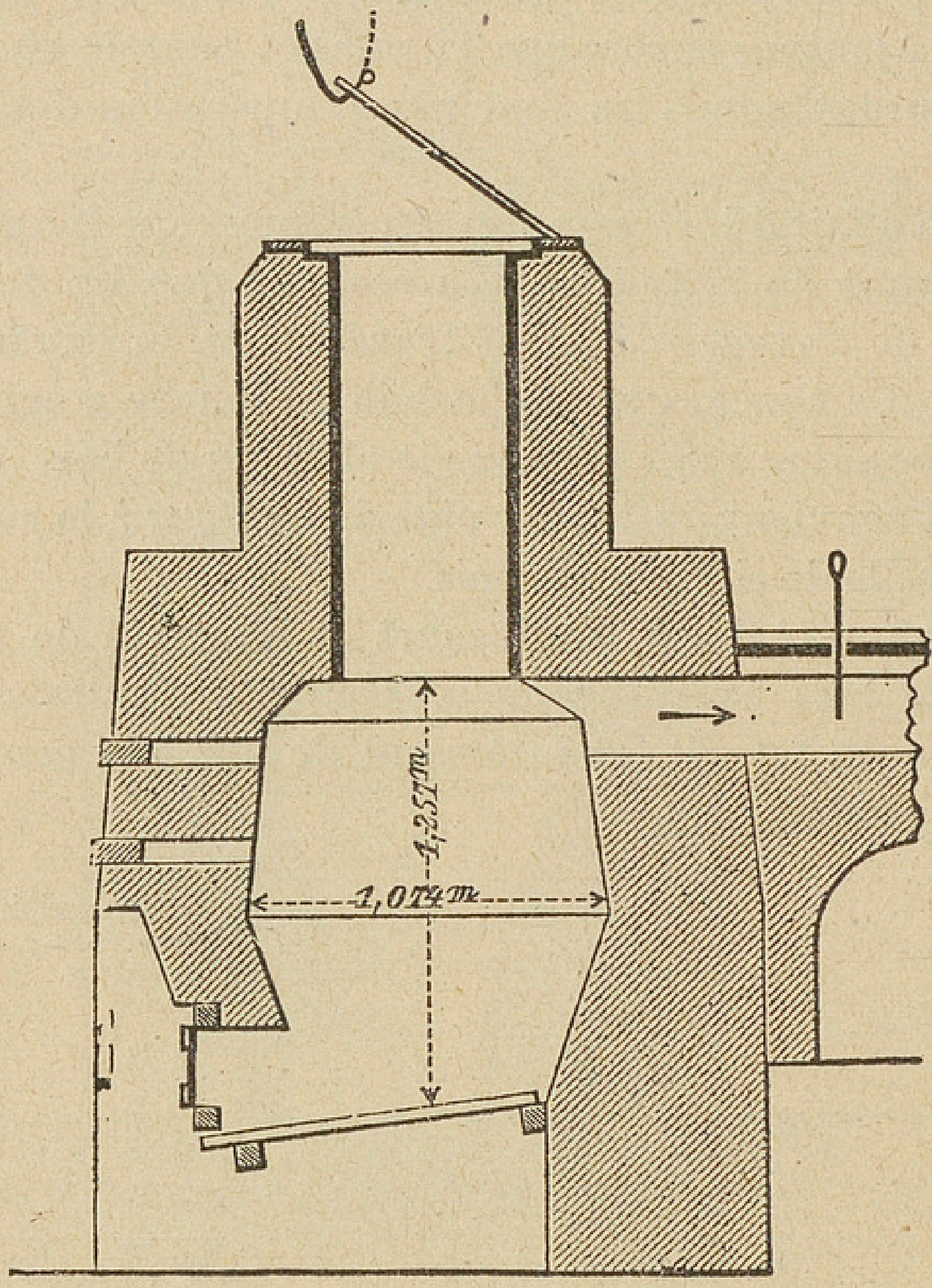


Fig. 15. — Gazogène Bischof.

traités français oublient trop souvent son nom, et ils ont tort, car Bischof me paraît devoir être mis chronologiquement sur le rang d'Ebelmen et de Thomas et Laurens. Il cherchait surtout à traiter la tourbe, qu'il commençait par dessécher par de

(1) L'ordre observé dans la suite de ces monographies répond à un double sentiment, de respecter les droits de chacun en tenant compte de l'époque des brevets, tout en obéissant au besoin d'un classement systématique, conçu d'après le développement des idées des inventeurs.

l'air chauffé par les gaz brûlés. Son premier gazogène reproduisait les formes des fours d'affinage de l'époque ; les gaz étaient

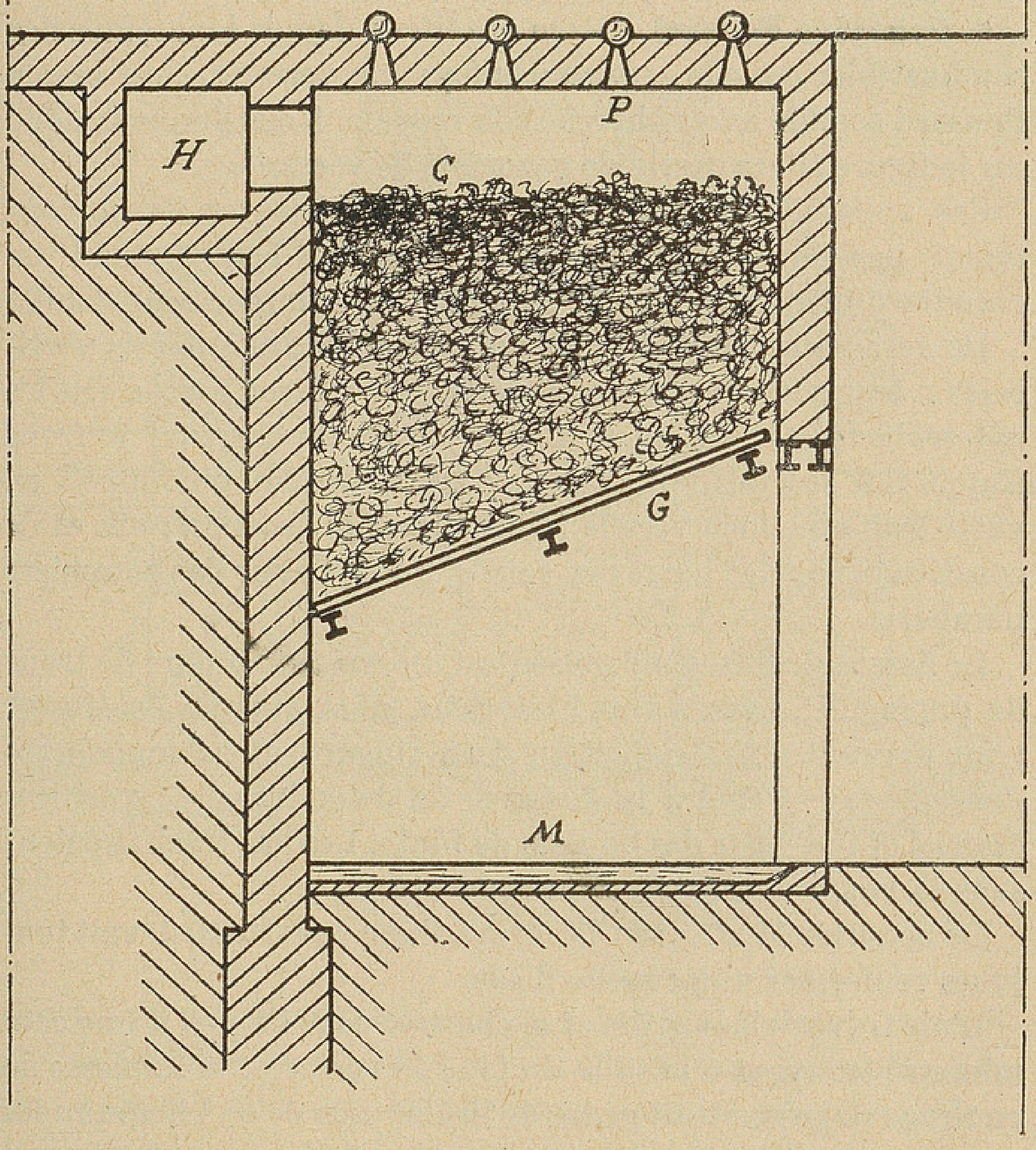


Fig. 16. — Gazogène de verrerie.

utilisés dans un four à souder. Plus tard, il se rapprocha de la forme des hauts-fourneaux, ainsi que cela se voit sur la figure 15.

Le plus grand diamètre de la cuve mesurait 1 m. 074. Sa hauteur atteignait 1 m. 257. La trémie de chargement présentait une grande hauteur ; elle était fermée simplement par un couvercle à rabattement.

Le fonctionnement était par aspiration, à l'aide d'une cheminée : mais quand on en vint à vouloir traiter certains lignites de Styrie, il fallut souffler du vent mécaniquement.

3. **Gazogène Ponsard.** — On gazéifiait depuis longtemps des combustibles pour le service des fours de verrerie ; c'est là que Ponsard semble avoir cherché son modèle. Nous donnons donc sur la figure 16 un dessin de gazogène de verrerie.

Ces appareils étaient d'une rare simplicité et ils ne coûtaient pas cher d'établissement, mais on leur donnait de grandes dimensions, car on avait besoin d'importants débits.

Ils se composaient d'une cuve rectangulaire à parois verticales : leur section atteignait plusieurs mètres carrés. On les enterrait dans le sol, pour ne pas perdre de chaleur : le front s'appuyait sur des fers et s'arrêtait à hauteur d'homme. Une vaste grille inclinée vers le fond portait le charbon ; elle était constituée par des barreaux carrés, appuyés sur des sommiers parallèles.

Le dessus du gazogène présentait un certain nombre de trous de piquage P, évasés vers l'intérieur, d'un diamètre suffisant pour permettre l'introduction d'un ringard et sa manœuvre dans un rayon égal à la distance de deux trous. Ces orifices étaient obturés par des boulets de fonte. Les gaz s'échappaient sous la voûte et gagnaient la conduite H.

Le cendrier M affectait la forme d'une cuvette : il devait toujours renfermer une couche d'eau.

L'air traversait la grille et le charbon sous l'appel d'une cheminée se trouvant à la suite du four de verrerie : la faiblesse de ce tirage ne permettait guère de brûler plus de 50 kilogrammes de charbon par mètre carré et par heure.

L'absence de trémie est à noter. Le combustible, concassé de la façon convenable, était amené par des brouettes sur la plate-forme supérieure ; le chauffeur enlevait un boulet, et faisait tomber, en y aidant de la pelle et de ses pieds, un peu de charbon

par le trou de piquage découvert. Une voûte venait-elle à se former, il la brisait à coups de ringard.

Le nettoyage du feu s'effectuait d'une manière très originale, en écartant les barreaux de la grille G à l'aide d'un crochet et en tirant par l'intervalle ouvert les scories.

Ces gazogènes étaient généralement montés par paires, ados-

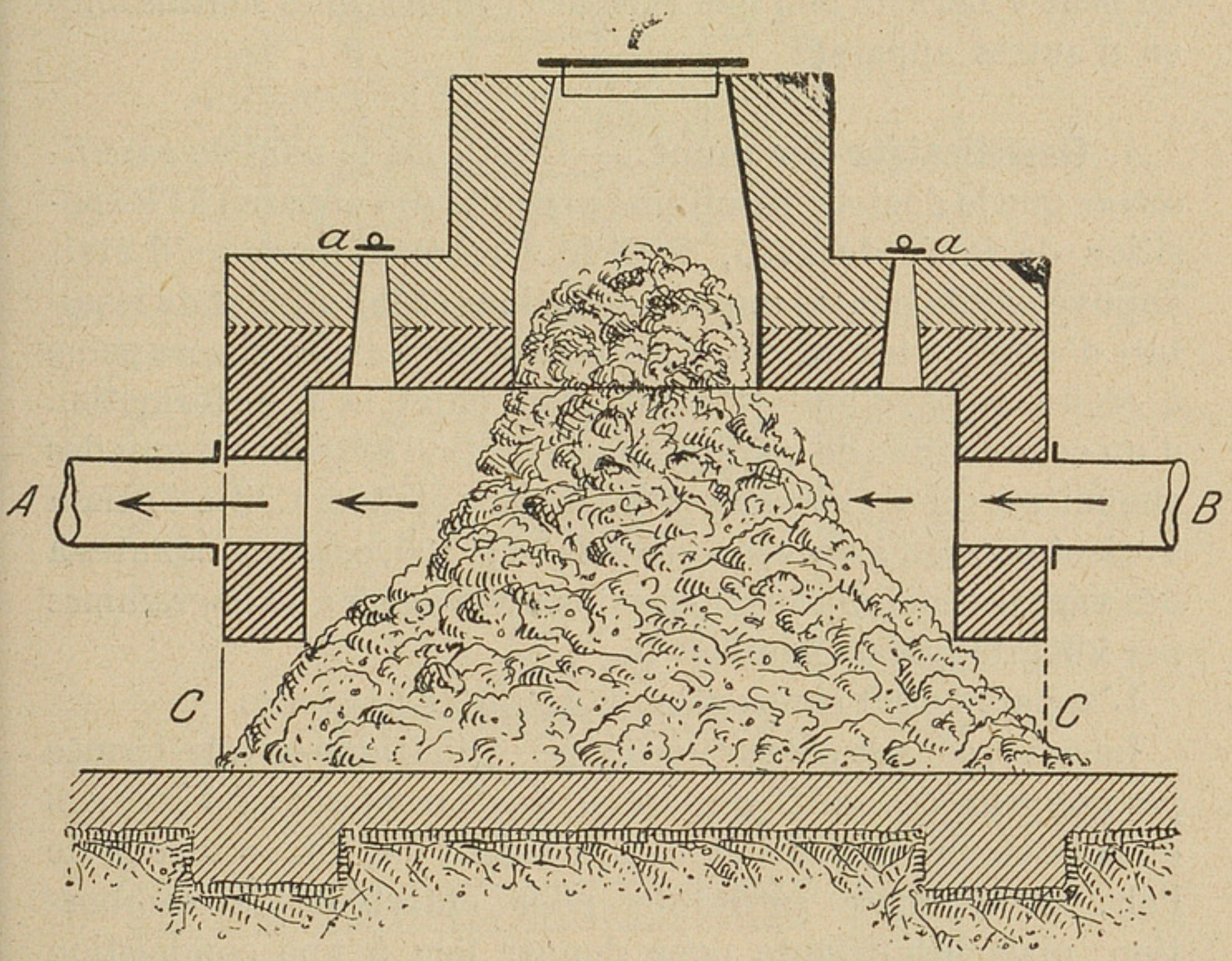


Fig. 17. — Gazogène Ponsard.

sées deux à deux ; les gaz se mélangeaient à la sortie, et l'on réalisait de la sorte une constance de composition très suffisante. On ne traitait ainsi que des charbons gras ; les gaz étaient conduits directement aux fours, où ils arrivaient très chauds aux brûleurs. L'air comburant était souvent réchauffé lui-même.

Ponsard a supprimé la grille (figure 17) ; la trémie supérieure T, placée au sommet de la voûte, occupe toute la largeur de la cuve de forme cubique. Le combustible forme une sorte de mur entre l'entrée de l'air par B et la sortie du gaz vers A. Les

scories se retirent pas les ouvertures inférieures C ; on retrouve les trous de piquage *a*.

L'air est surchauffé par la traversée d'un calorifère en briques, placé en contre-bas des fours, à grande section, pour ne point paralyser le courant. Le four de travail suit immédiatement le gazofacteur.

La rusticité de ce gazogène n'est pas son moindre mérite ; on peut y faire de bon gaz avec des combustibles inutilisables en d'autres appareils.

4. **Gazéificateur Beaufumé.** — C'est sous le nom de *gazéificateur* que le docteur Beaufumé présenta son appareil à l'Exposition de Paris de 1855, où il fit sensation, parce qu'il était appuyé par de hautes recommandations et faisait état de résultats d'essais extraordinaires, auxquels nous avons encore peine à croire aujourd'hui. Il avait pour objet la transformation d'un combustible de qualité, en gaz destiné à être brûlé sous des chaudières ; des expériences faites aux ateliers Cail à Denain avaient conduit à des économies de 58 p. 100, correspondantes à des vaporisations de 10 kilogrammes de vapeur à 5 kilogrammes par kilogramme de houille.

L'appareil était conçu d'après des idées nouvelles.

La cuve, constituée par une caisse cylindrique en tôle, fermée par une grille de fond G, renfermait du charbon sur les deux tiers de sa hauteur. Un ventilateur fournissait par l'ouverture D de l'air, en quantité suffisante pour entretenir la combustion, mais insuffisante pour donner lieu à une combustion complète en CO^2. Une seconde caisse pleine d'eau enveloppait la première et bénéficiait du calorique engendré pour développer une quantité de vapeur que l'on disait suffisante pour actionner le ventilateur ; elle se dégageait par la conduite V.

Deux trémies de chargement T recevaient le charbon et le distribuaient à la cuve par les registres peu étanches R, qui laissaient passer les produits volatils résultant d'un commencement de distillation.

Pour la mise en feu, on recourait à des combustibles facilement inflammables et l'on comptait sur le tirage naturel de la

cheminée B ; l'opération était longue et ingrate et l'on ne réussissait pas toujours du premier coup.

Il faut reconnaître que ce gazéificateur, ce gazogène-chaudière, de forme cylindrique, alimenté de charbon ou de coke,

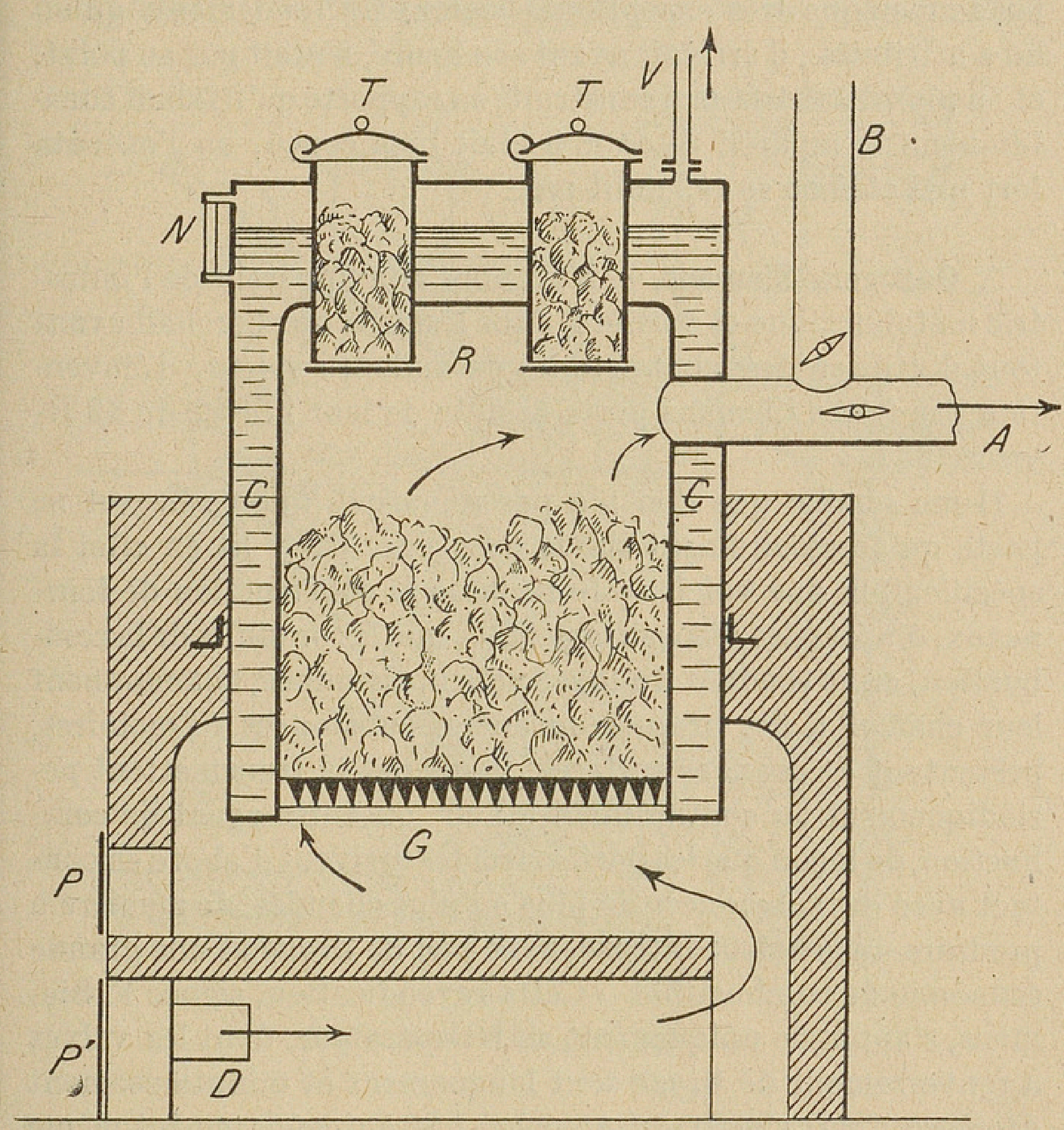


Fig. 18. — Gazéificateur Beaufumé.

destiné à fournir du gaz à des brûleurs de générateurs de vapeur constituait une nouveauté pleine d'ingéniosité, qui faisait honneur à l'esprit d'initiative de ce docteur (en médecine sans doute) dont on ne trouve plus le nom que dans les vieux livres et le souvenir nulle part. Il mérite cependant une mention spéciale, à plus juste titre que tant d'autres qui n'ont fait que

démarquer l'œuvre de leurs prédécesseurs. Assurément, l'on mit quelque complaisance, en 1855, dans les comptes-rendus et les résultats d'expériences, proclamés à son de trompe et répandus partout comme une vulgaire réclame ; l'appareil n'a pu donner que très exceptionnellement les rendements qu'on lui a attribués ; il arrivait avant son heure, n'était pas au point, et en plus il fut très mal construit ; on rapporte qu'il fallait constamment le réparer. Si donc il était bien conçu, on l'exécuta fort mal et il ne se répandit pas.

5. **Gazogène Siemens.** — Revenons aux appareils de l'industrie métallurgique et verrière, dans lesquels on cherchait avant tout d'utiliser des combustibles de moindre valeur. L'invention des frères Siemens porte la date de leur brevet du 13 février 1857.

Il me semble que l'on n'a pas remarqué que ce brevet ne porte qu'accessoirement sur le gazogène. On y lit en effet la spécification que voici : « Je réclame la construction de fourneaux, d'après des dispositions telles que les produits de la combustion, en se rendant du foyer vers la cheminée, abandonnent leur chaleur à des briques ou autres substances réfractaires, présentant de grandes surfaces, lesquelles la transmettent périodiquement ou continûment à l'air ou autre agent de combustion, de façon que les parties froides arrivent d'abord en contact avec des substances de plus en plus chaudes, de manière à produire une chaleur intense, avec peu de tirage et une grande économie de combustible. » Cette revendication, signée F. Siemens, s'applique uniquement au récupérateur, dont les valves à renversement de tirage sont longuement et minutieusement décrites. Cela, c'était du nouveau ; le gazogène en lui-même rappelait au contraire des choses déjà vues.

Il se compose d'une chambre en maçonnerie enterrée, afin de la bien protéger contre les pertes de chaleur, dans laquelle on verse du combustible par une trémie supérieure T (figure 19) bien étanche ; ce charbon, concassé en menus morceaux, s'étale sur un plan incliné à 45 degrés sur l'horizontale, terminé en bas par une grille G à gradins. Les fragments glissent le long de cette ligne de plus grande pente, à condition qu'on les y aide

un peu, en agissant par les regards *a*, disposés à cet effet dans la voûte supérieure. L'épaisseur croît évidemment de haut en bas ; le combustible, maintenu d'autre part par les parois verticales qui l'enserrent, brûle incomplètement au contact de l'air aspiré à travers la grille. Cendres et scories s'accumulent

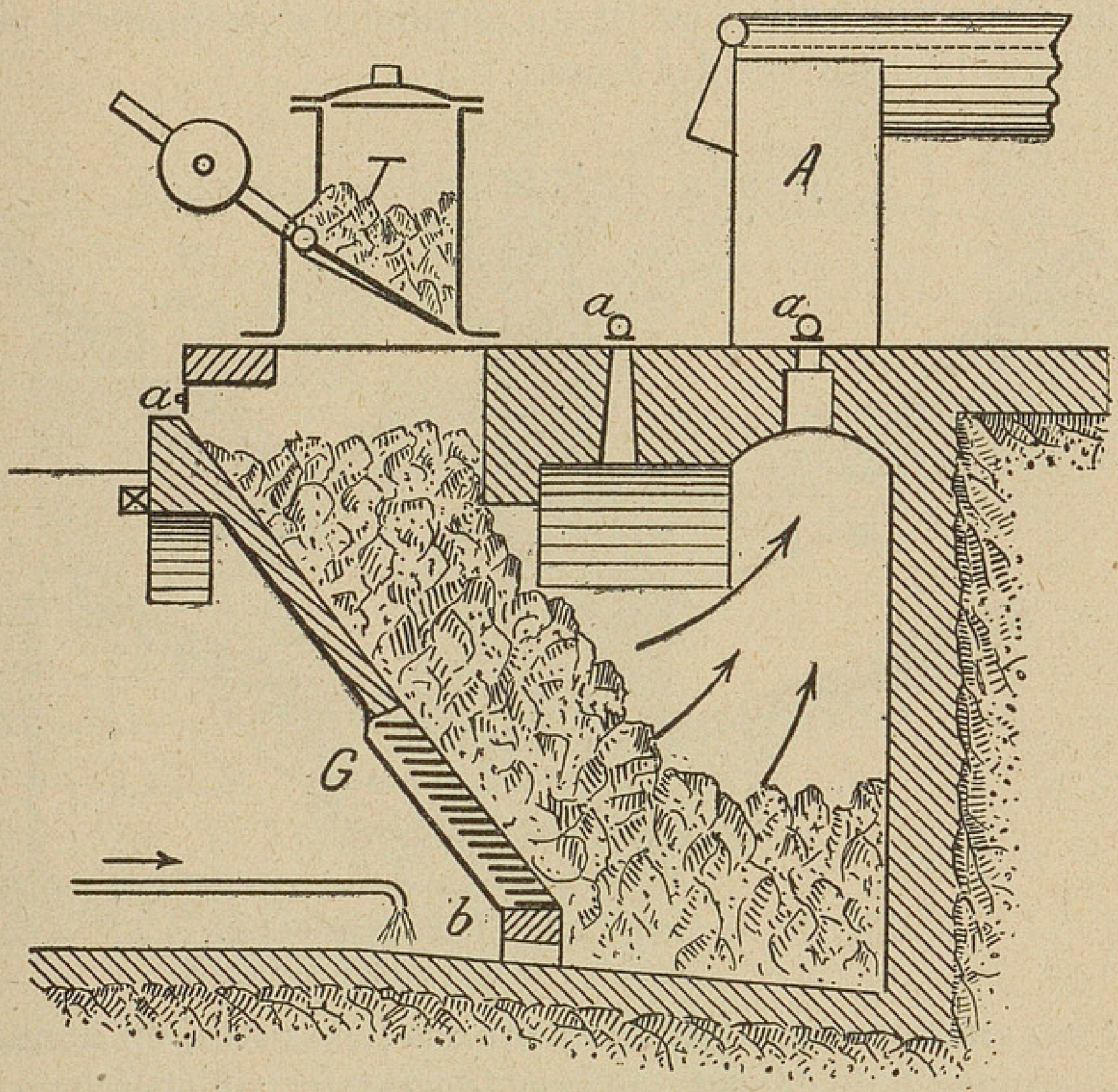


Fig. 19. — Gazogène Siemens.

au fond de la fosse ; il faut les en retirer. Les gaz s'échappent par A, vers les récupérateurs et les fours.

On s'aperçut rapidement que la température élevée, à laquelle les barreaux horizontaux de la grille étaient soumis, les conduirait à une rapide détérioration et l'on inonda d'eau, par le tuyau *b*, le sol devant le feu : cette pratique fut reconnue utile au fonctionnement et elle devait l'être, puisqu'on faisait ainsi déjà du gaz mixte, sans l'avoir voulu.

La forme de la paroi inclinée convenait bien pour que l'air

traverse le combustible incandescent dans sa plus forte épaisseur, ainsi qu'il le faut ; de plus, le charbon peut gonfler, foisonner et s'agglomérer sans grand inconvénient, car on en brise aisément les voûtes et l'on en désagrège les galettes, non seulement par les trous *a*, mais encore par les intervalles des barreaux G. L'appareil est donc d'un service commode, sinon facile ; la récupération en fit un auxiliaire extrêmement efficace pour le chauffage des fours.

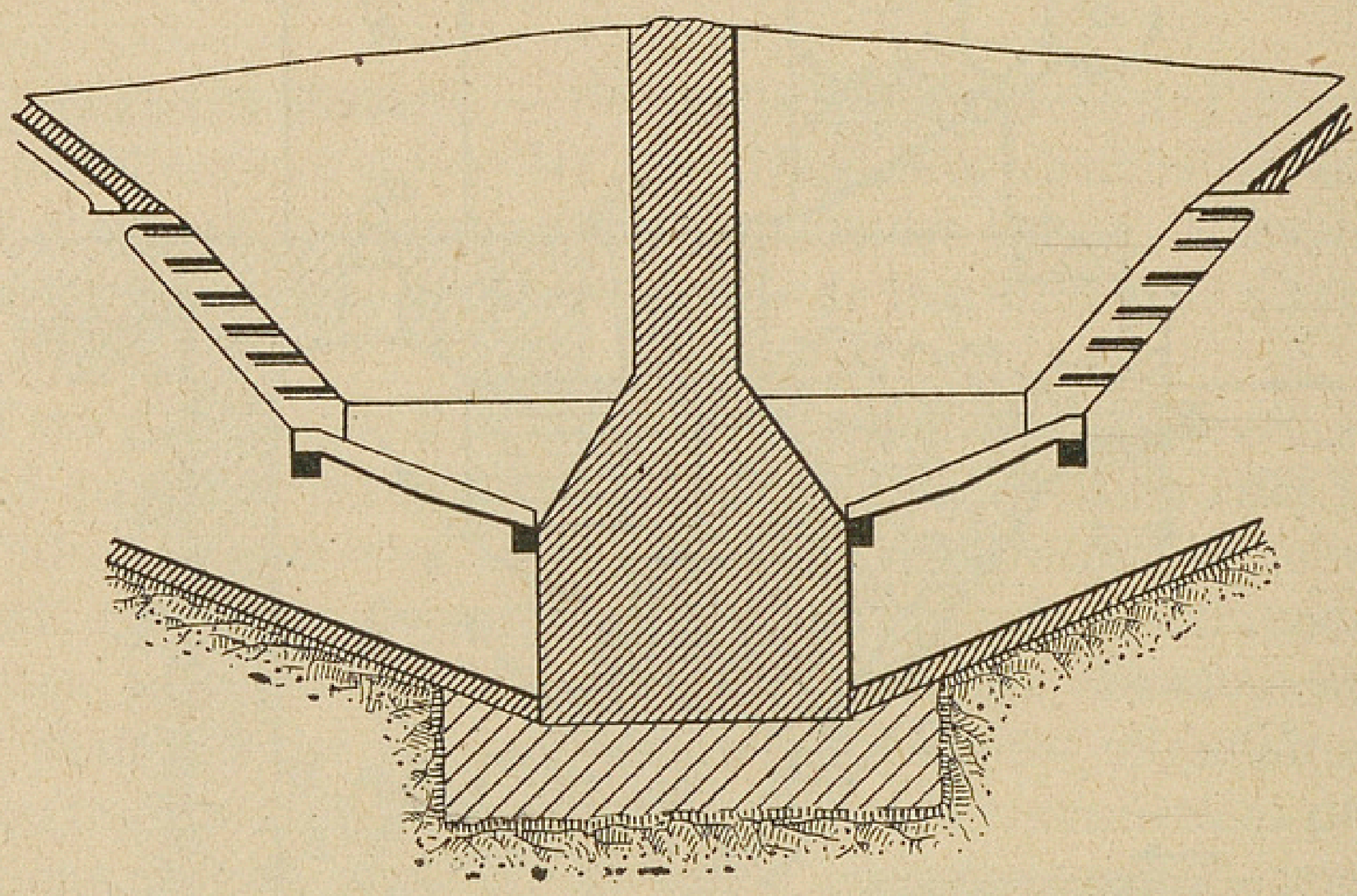


Fig. 20. — Gazogènes Siemens adossés.

Pour empêcher un entraînement des poussières, on donna à la cheminée A de départ une grande hauteur. On chercha à diminuer les pertes de chaleur, en adossant deux gazogènes, selon le dispositif de la figure 20, sur laquelle j'ai représenté une modification de la grille. Pour faciliter le décrassage du feu et l'enlèvement des cendres, on plaça une grille inclinée à barreaux longitudinaux à la suite de la grille à gradins, dont les barreaux horizontaux ont une direction transversale. On se protégea encore mieux contre les déperditions de calorique, en montant des batteries de gazogènes ; les foyers, disposés côte à côte, se couvraient latéralement les uns les autres.

Dans ces conditions le tirage naturel par cheminée ne suffisait plus et il fallut recourir soit à des exhausteurs, appelant

les gaz, soit à des ventilateurs insufflant de l'air dans le foyer.

J'ai dit que le Siemens se prêtait à l'emploi de charbons de toute nature, ce qui est exact ; mais on omet souvent de rappeler que le service des appareils peut ainsi devenir extrê-

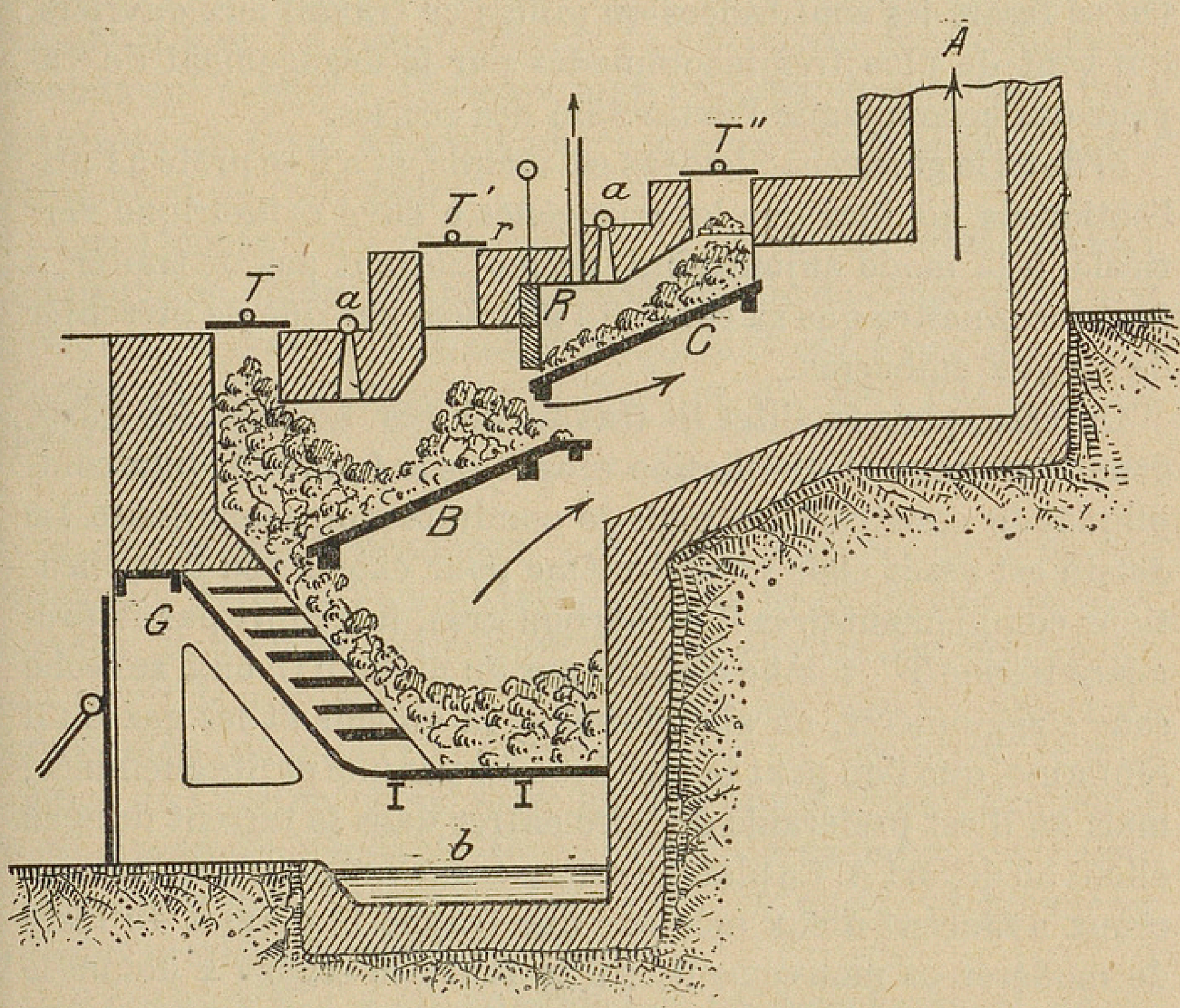


Fig. 21. — Gazogène Siemens à distillation étagée.

mement pénible. L'évacuation des mâchefers constitue quelquefois un énorme surcroît de travail.

Voici comment on est souvent obligé de procéder, lorsque la petite grille inférieure s'encombre de mâchefers solidifiés, dont on ne peut plus se débarrasser au crochet ; on en retire tous les barreaux un à un. Mais le charbon se répandrait alors sur la sole ; pour arrêter son mouvement, on glissera d'abord entre les éléments de la grille à gradins des barres de fer méplates, spécialement forgées pour ce travail, présentant des poignées, et l'on constitue de la sorte une grille de fortune, qui

empêche les morceaux de glisser le long du plan incliné. Le nettoyage terminé, on remet en place les barreaux de la petite grille horizontale. Cette opération demande à être menée très rondement, car les barres méplates rougissent très vite et se plient, et il faut les laisser dans le feu le moins de temps possible. On se figure les souffrances qu'inflige ce travail aux ouvriers, qui sont de plus très incommodés par le dégagement de vapeur qui accompagne l'extinction des scories.

Si donc le gazogène Siemens est simple, et s'il se prête à l'utilisation de houilles que les gazogènes à cuve cylindrique verticale, à la mode aujourd'hui, ne permettent pas de traiter, il faut reconnaître que sa conduite ne laisse pas que de présenter de sérieux embarras.

On créa, pour faciliter le travail de ces houilles, les gazogènes à séchage et distillation étagée de la figure 21, plus compliqués de construction, mais de conduite moins laborieuse. Le dessin est assez clair par lui-même pour exiger peu d'explications complémentaires. Le charbon gras, introduit par la première trémie T'', tombe d'abord sur un plateau C, où il se sèche sans s'agglomérer, en abandonnant la vapeur et les gaz qu'il renferme, que l'on peut laisser évacuer par une petite cheminée, mais qu'il est préférable de faire entrer dans le torrent des gaz allant au départ A. Ce plateau est assez incliné pour que les morceaux avancent d'eux-mêmes ; une trappe R permet du reste de modérer ce mouvement, s'il le faut ; le regard *a* donne le moyen de se rendre compte de ce qui se passe. Le chargement est complété par les trémies T et T' ; le charbon est arrêté par le plateau B, où il subit une distillation complète, avant de tomber sur le plan incliné et la grille G ; un coup de ringard, donné par un des trous *a*, règle la descente. Un tel gazogène est toujours soufflé. Le cendrier *b* est rempli d'eau, pour réfrigérer les pièces métalliques, qui se détruisent trop rapidement. Cette distillation, dont les produits se mêlent aux gaz très chauds et qui subissent la décomposition pyrogénée, est de nature à supprimer les transports de goudrons, qui pourraient devenir gênants, si les appareils de combustion se trouvaient à quelque distance du gazogène.

Il est vrai que ce n'est pas le cas habituel, car les gaz trouvent

généralement leur utilisation immédiate, sans perdre beaucoup de leur chaleur sensible et sans donner lieu à des condensations.

Les récupérateurs de chaleur que Siemens adjoignait à ses gazogènes, que j'ai déjà décrits précédemment, ne sont employés qu'à réchauffer ce qu'on appelle l'air secondaire, c'est-à-dire l'air débité aux brûleurs, en même temps que les gaz combustibles. Le réchauffage de l'air primaire, fourni au gazofacteur lui-même, a été essayé mais vite abandonné, car la température du foyer s'élevait outre mesure et créait de grandes difficultés de tout genre.

Les gazogènes Siemens ont pris les formes les plus variées ; on peut s'en rendre compte en consultant les ouvrages de Putsch (*Neue und Neuere Gasfeuerungen*) ; le *Namen-Register* mentionne six fois le nom de William et dix-sept fois celui de Frédéric Siemens.

6. **Gazogènes Lencauchez.** — Lencauchez s'est lancé un des premiers dans la voie ouverte par les deux ingénieurs allemands, dont nous venons de faire connaître les principales œuvres : leur concurrent français n'a pas montré moins de génie inventif qu'eux et il les a égalés en fécondité. Je suis obligé de faire un choix entre les nombreux types auxquels il s'est successivement arrêté au cours de sa longue carrière.

Le gazogène à barrage de la figure 22 est une de ses premières et plus originales créations.

Je crois qu'il y a été conduit par un raisonnement de ce genre. Les carbures distillés par les houilles grasses se condensent dans les canalisations refroidies qu'on leur fait parcourir. On ne cherchait pas à les recueillir par suite des complications de l'opération ; on s'avisa donc d'augmenter leur fluidité en forçant le tirage et en élevant l'allure. Or, on constata qu'à ces hautes températures les carbures se dédoublaient et se décarburaient, en donnant des produits plus stables, surtout du méthane, de l'éthylène, de l'acétylène, etc. ; le résultat eût été heureux à tous égards, s'il n'y avait eu en même temps dépôt de carbone à la sortie du producteur ; ce dépôt encombrait lui aussi les canalisations et il créait de nouveaux embarras. Il était indiqué de ramener les goudrons au sein de la zone in-

candescente, pour les y décarburer ; le dépôt de carbone se faisait alors en ce point, où il ne gênait nullement. Tout au contraire il formait du coke, qui se joignait à celui de la cuve et se gazéifiait avec lui.

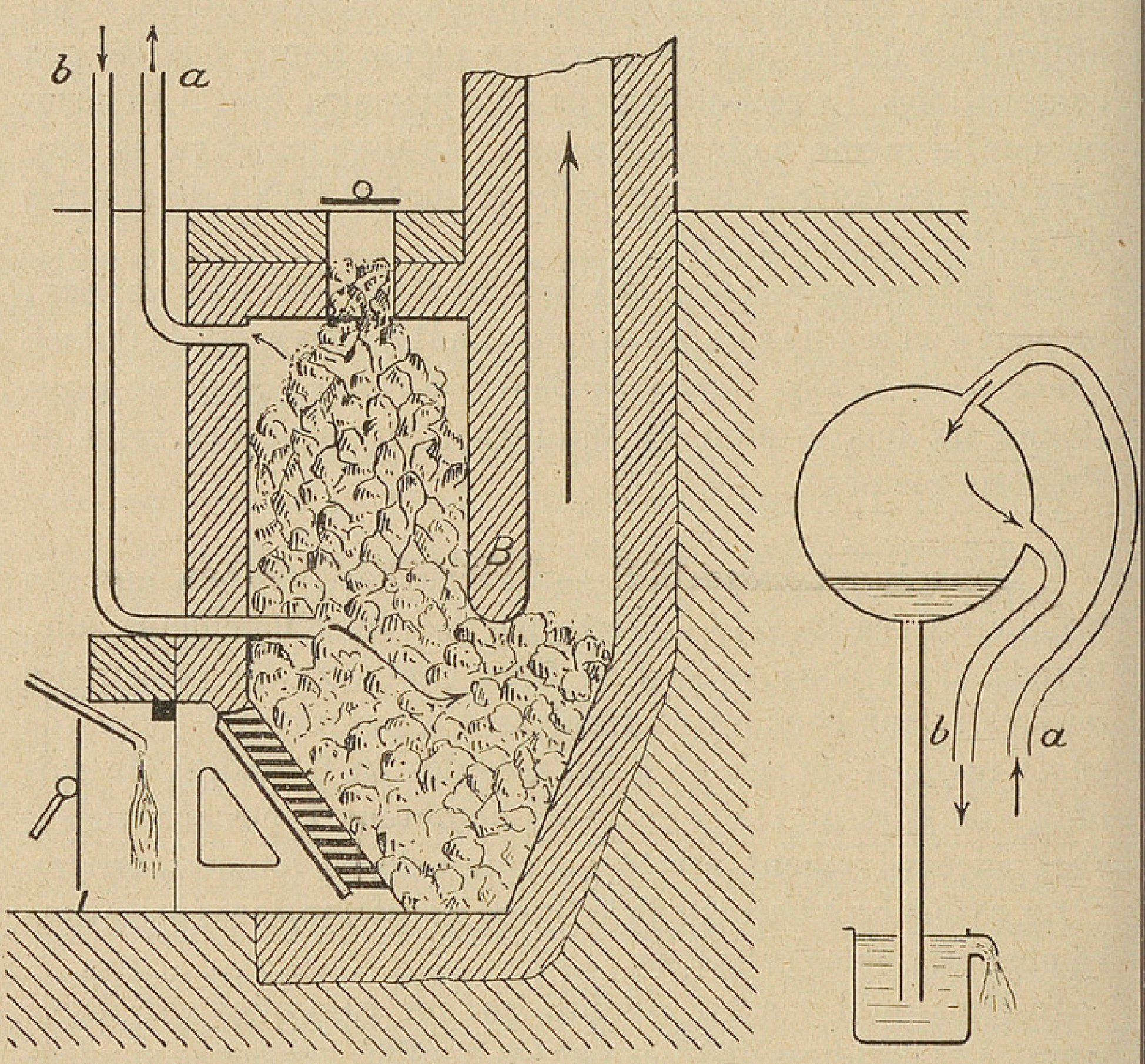


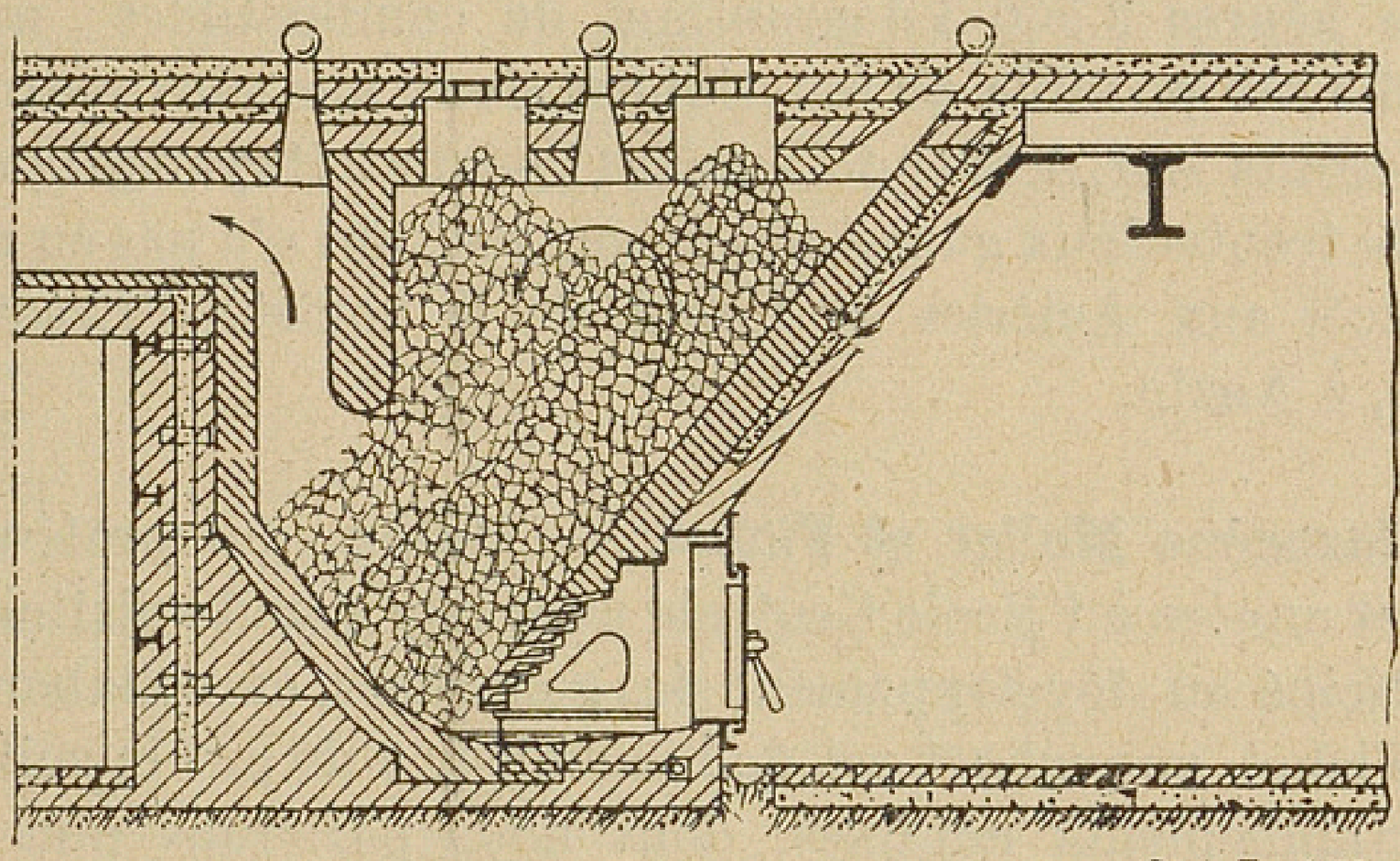
Fig. 22. — Gazogène Lencauchez à barrage.

Ce résultat a été obtenu en interposant un barrage entre la zone de feu et le tuyau d'évacuation qui contraignait les substances distillées à repasser sur le charbon incandescent ; c'est le principe du gazogène à barrage.

Ce barrage se voit en B ; la cuve est verticale sur ses quatre faces ; la grille constitue le seul étalage. D'ordinaire le tirage est naturel : si l'on souffle, c'est sous une très faible pression de 2 à 3 millimètres d'eau. Les gaz se dégagent par la cheminée A.

Les carbures distillés à la partie supérieure de la cuve trouvent une issue par le tuyau *a*, qui les porte dans un ballon où ils se dépouillent de la vapeur d'eau qui les a accompagnés, pour revenir ensuite par *b* en pleine masse incandescente. L'eau condensée est évacuée par le bas dans une cuvette à déversoir, formant joint hydraulique. Le ballon est refroidi par un arrosage d'eau.

Lencauchez a annoncé à ses collègues des Ingénieurs civils



St. u. E. 152

Fig. 23. — Autre gazogène Lencauchez à barrage.

qu'il avait installé une batterie de ces appareils à la Compagnie française des Métaux, à Saint-Denis, et qu'il y avait traité avec succès du coke à 10 p. 100 de cendres et 10 p. 100 d'eau. Le radier du cendrier était constamment couvert d'eau et la porte restait fermée. Le même gazogène a aussi permis l'emploi d'un lignite renfermant 40 p. 100 d'eau de constitution et 20 de gaz permanents.

Le barrage a été appliqué aussi heureusement à des gazogènes genre Siemens, à plan et grille inclinés, ainsi que cela se voit sur la figure 23. Quatre gueulards surmontent la voûte supérieure : par les deux premiers, placés à l'avant, on charge de la houille ; par les deux autres, disposés à l'arrière, du coke. On règle les chargements de manière à introduire 25 p. 100 de coke pour 75 p. 100 de houille, qui peut être très gazeuse. Le cendrier

est fermé, comme ci-dessus, et arrosé d'eau. La houille est chargée avant le coke, qui se met toujours après, en couverture ; les gaz et la vapeur condensables sont donc obligés de traverser le filtre de coke pour aller à l'orifice de sortie. Ils s'épurent ainsi physiquement. La preuve en est que si l'on ouvre les trous de piquage, il s'en échappe des gaz noirs, en épaisse fumée ; au contraire les gaz sortant de l'appareil sont invisibles.

On peut marcher à outrance, c'est-à-dire gazéifier par vingt-quatre heures 3.500 kilogrammes de combustibles ; malgré cela, il a été possible de fonctionner deux ans sans nettoyage des conduits. MM. de Wendel avaient installé à Hayange une batterie de trente-deux gazogènes de ce type, qui n'a pas eu moins de succès aux Aciéries et forges de la Société d'Escaut et Meuse, à Anzin.

7. **Gazogène Muller et Fichet.** — Muller, qui professa de longues années à l'Ecole Centrale avec une grande distinction, a participé au développement des gazogènes, en collaboration avec Fichet, auquel cet art de l'ingénieur a dû par la suite des perfectionnements notables, dont nous parlerons plus loin.

Leur gazogène (figure 24) était d'une extrême simplicité ; on y retrouve les éléments caractéristiques du Siemens, plan incliné, trémie, double grille G, *a* regard et trou de piquage, etc. il n'y a plus lieu d'en décrire les dispositions, après ce qu'on a pu lire ci-dessus. La porte du cendrier mérité d'arrêter l'attention ; les inventeurs cherchaient à régler l'introduction de l'air, tout en se préoccupant de ne pas laisser perdre de calories, et d'en bénéficier en réchauffant le comburant.

On a appliqué ces gazéificateurs au chauffage des fours de céramique et à l'alimentation des brûleurs sous chaudières ; ces derniers ont été l'objet d'une étude fructueuse. Une pièce réfractaire divisait les courants de gaz et d'air et les faisait arriver dans une chambre de combustion par lames minces alternées, pour établir un contact intime entre elles sur une grande surface. On réalisait ainsi une combustion parfaite sans grand excès d'air, ce qui est le but à poursuivre ; en même temps, on s'efforçait de chauffer le plus possible l'air admis, en lui faisant

traverser des conduits courbes ménagés dans la pièce céramique constituant le brûleur.

Dans les foyers de chaudières, les brûleurs étaient surmontés d'une voûte en briques réfractaires, qui constituait une chambre de combustion à température élevée, tout en empêchant les flammes de donner un coup de chalumeau sur les bouilleurs et de les brûler. C'était la grande objection contre l'emploi des

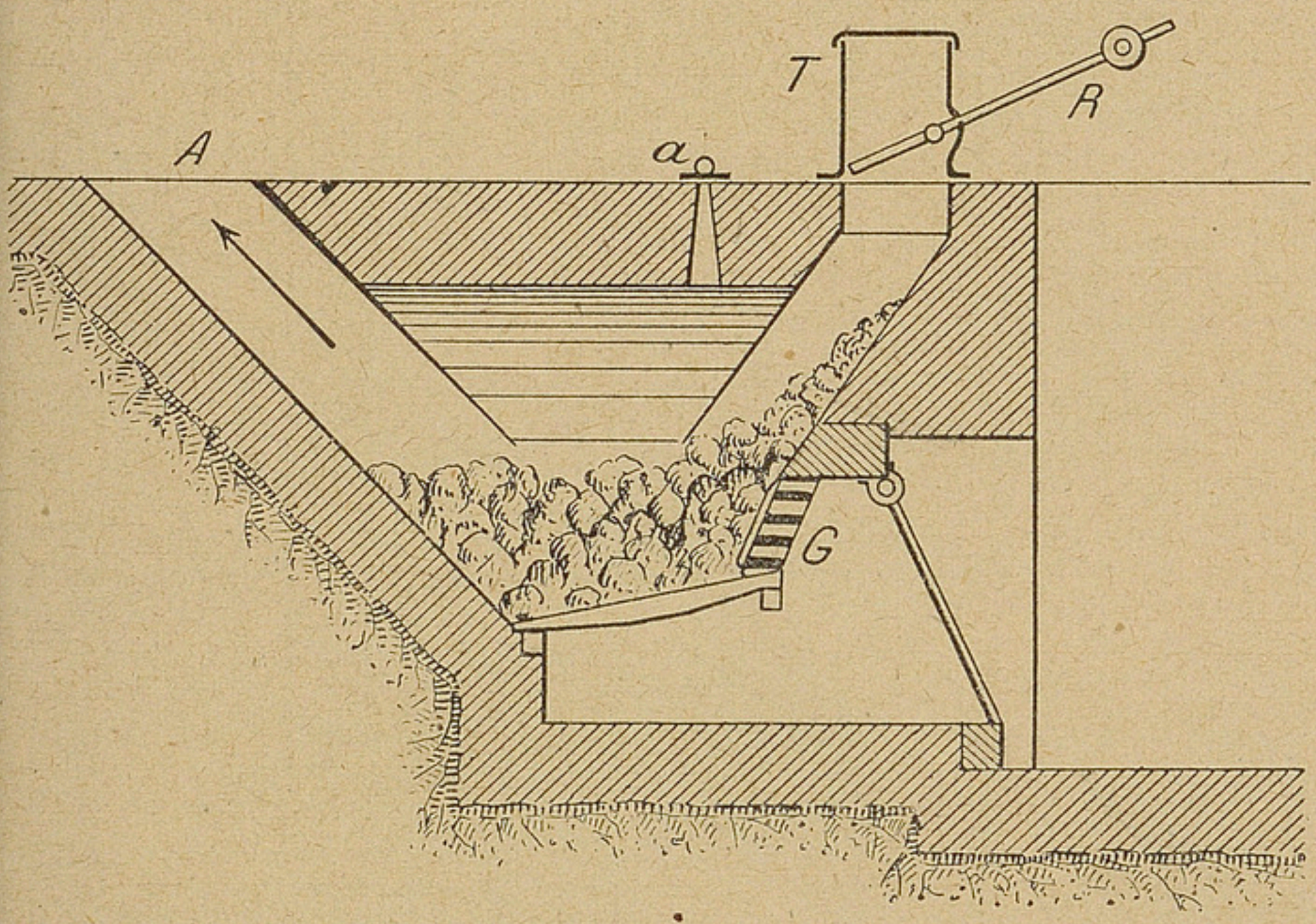


Fig. 24. — Gazogène Muller et Fichet.

gaz au chauffage des chaudières, et il faut reconnaître qu'elle était fondée : Muller avait trouvé la solution de la difficulté.

8. **Gazogène Saillers.** — Les gazogènes du type Siemens s'étaient substitués aux anciens alandiers au bois et à la houille en usage dans les verreries, les fabriques de glaces et les industries céramiques, et l'on s'accordait à reconnaître qu'ils avaient permis de réaliser des économies de 35 à 40 p. 100. Mais il était des cas où la disposition des locaux ou bien la nature du sous-sol se prêtait mal à l'installation de ces appareils, exposés du reste à des pertes de gaz à travers les maçonneries et qui ne per-

mettaient l'emploi que du tirage naturel ou des faibles pressions. On en vint à discuter leur construction et M. Kraus écrivait dans une étude sur les fours Siemens (1) : « Le four à cuve aurait sur le gazogène à grille le grand avantage de pouvoir

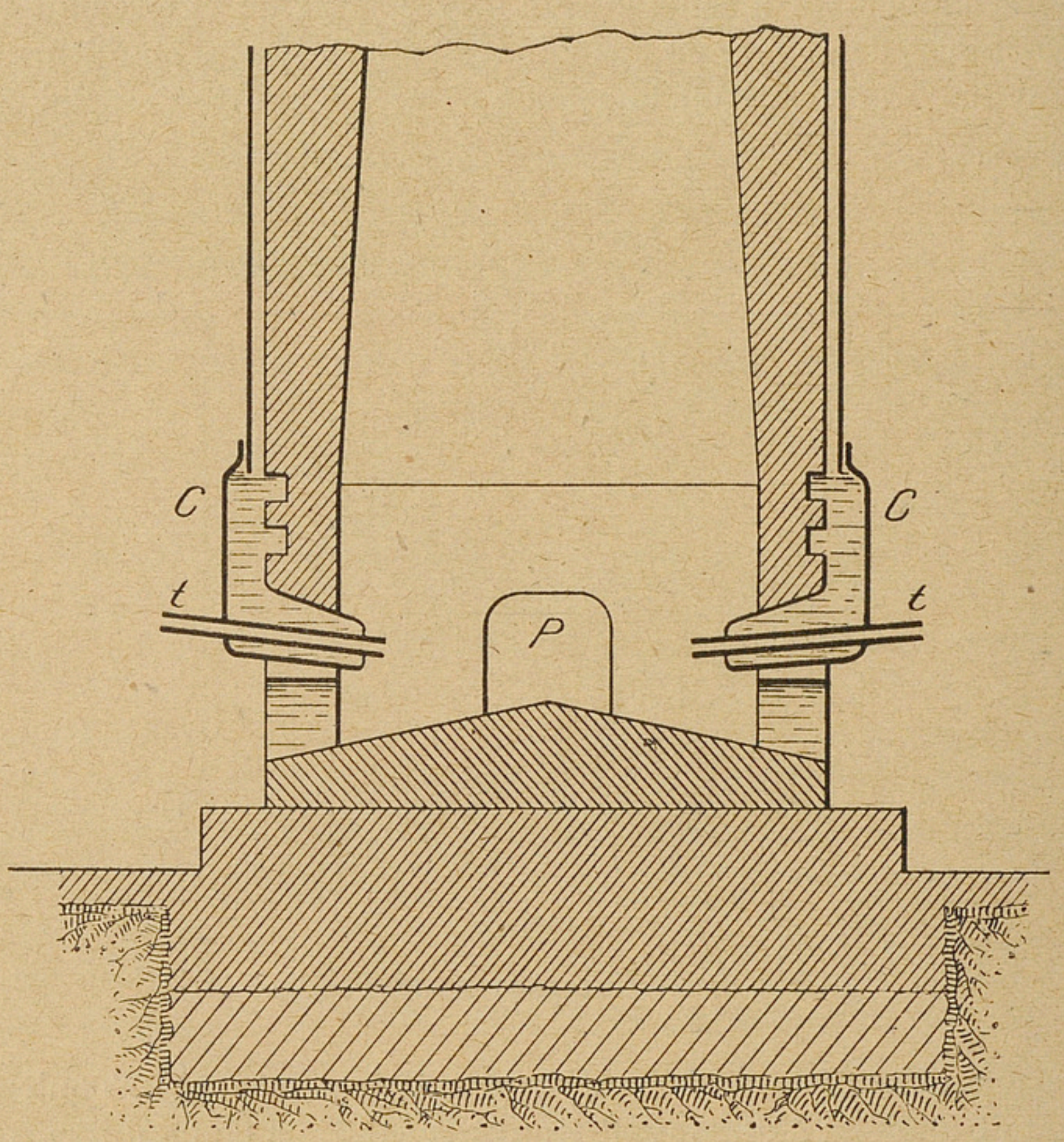


Fig. 25. — Gazogène Saillers.

être conduit d'une manière certaine, sans difficulté sérieuse, et l'on ne serait plus, pour la génération du gaz, la partie essentielle du procédé, à la merci du travail plus ou moins habile

(1) Cité dans le *Traité de la Chaleur* de Péclet, 1re édition, publiée par Hudelo (1878), tome I, page 468.

d'un ouvrier. » On espérait obtenir surtout une plus grande régularité de production en quantité et en qualité.

Beaufumé avait déjà donné la préférence à la cuve ; les métallurgistes essayèrent aussi cette forme, qui se prêtait mieux au vent forcé.

Le gazogène Saillers, dont j'emprunte la description à

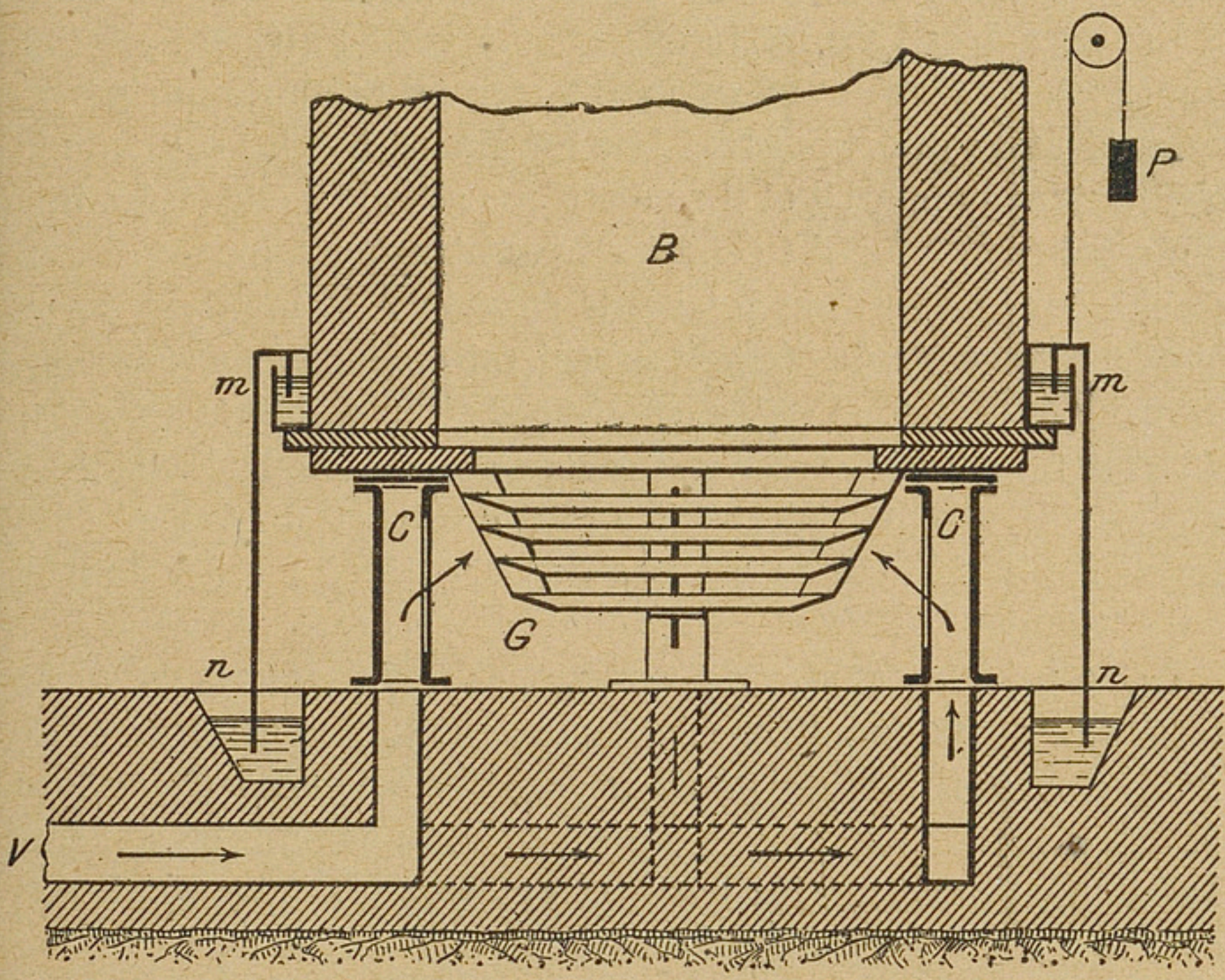


Fig. 26. — Gazogène à cloche.

Ledebur (1), était surtout destiné à utiliser les houilles collantes : on le munissait d'un trou de coulée pour les laitiers formés par les cendres fondues. Il affectait la forme d'un cubilot, de section plus large en bas qu'en haut, pour faciliter la descente ; le vent était soufflé sous la forte pression de 200 millimètres d'eau, pour lui permettre de traverser une épaisse couche de combustible plus ou moins aggloméré. Le vent était servi par des tuyères *t* (fig. 25) faisant saillie à l'intérieur, réfrigérées par

(1) *Manuel de la Métallurgie du fer*, tome I, page 143.

un courant d'eau ; la caisse à eau C est logée dans l'épaisseur même des parois, qu'elle sert à protéger contre l'action de scories rendues fusibles par l'addition de castine. Une porte P, habituellement murée, permet de pénétrer dans la chambre pour la réparer. Dans ces appareils, la température de sortie du gaz n'est pas éloignée de 1.000° ; ils contiennent au plus 2 p. 100 d'acide carbonique.

Ledebur décrit un autre gazogène à cuve représenté sur la figure 26, employé aussi en métallurgie ; il présente une particularité assez intéressante. L'air est amené par les colonnes C qui portent l'appareil et il se distribue sous la grille G. La fermeture hermétique du cendrier est obtenue au moyen d'une cloche équilibrée, dont les bords supérieur et inférieur plongent dans une garde d'eau. Le vent est réchauffé par son passage dans les canaux de maçonnerie V et les colonnes de fonte.

Quelquefois la grille est remplacée par un amoncellement de scories ; le vent est alors introduit au-dessus du tas qu'elles forment ; la colonne de combustible descend à mesure de leur enlèvement.

Les divers gazogènes que je viens de décrire, sous la rubrique de producteurs de gaz à l'air, répondent bien à cette dénomination, mais il faut concéder néanmoins que dans un certain nombre d'entre eux on engendrait déjà du gaz mixte, soit que le combustible apportât avec lui de l'humidité dans le foyer, soit que l'eau jetée dans le cendrier introduisît de la vapeur dans l'air insufflé. Toutefois on peut dire que ce n'était qu'un effet accessoire et que la quantité d'eau injectée restait assez faible. La teneur du gaz en hydrogène était par suite généralement inférieure à 3 p. 100 comme pour les gaz de hauts-fourneaux.

GAZOGÈNES DE GAZ A L'EAU

Les gaz à l'eau conviennent, avons-nous dit déjà, excellemment aux opérations de soudure des métaux ; ils ne forment aucun dépôt sur les surfaces que l'on rapproche et permettent d'éviter toute oxydation nuisible ; on les emploie tels quels, c'est-à-dire purs. Ils ne peuvent servir à l'éclairage, si on ne les

carbure pas, parce qu'ils ne donnent pas plus de lumière que la flamme de l'hydrogène ou de l'alcool ; on les mêle souvent au gaz de ville, où ils font très bien, surtout pour l'alimentation des becs Auer. En moteurs, ils ont trouvé peu d'applications : ils reviennent beaucoup plus cher que les gaz pauvres et pré-

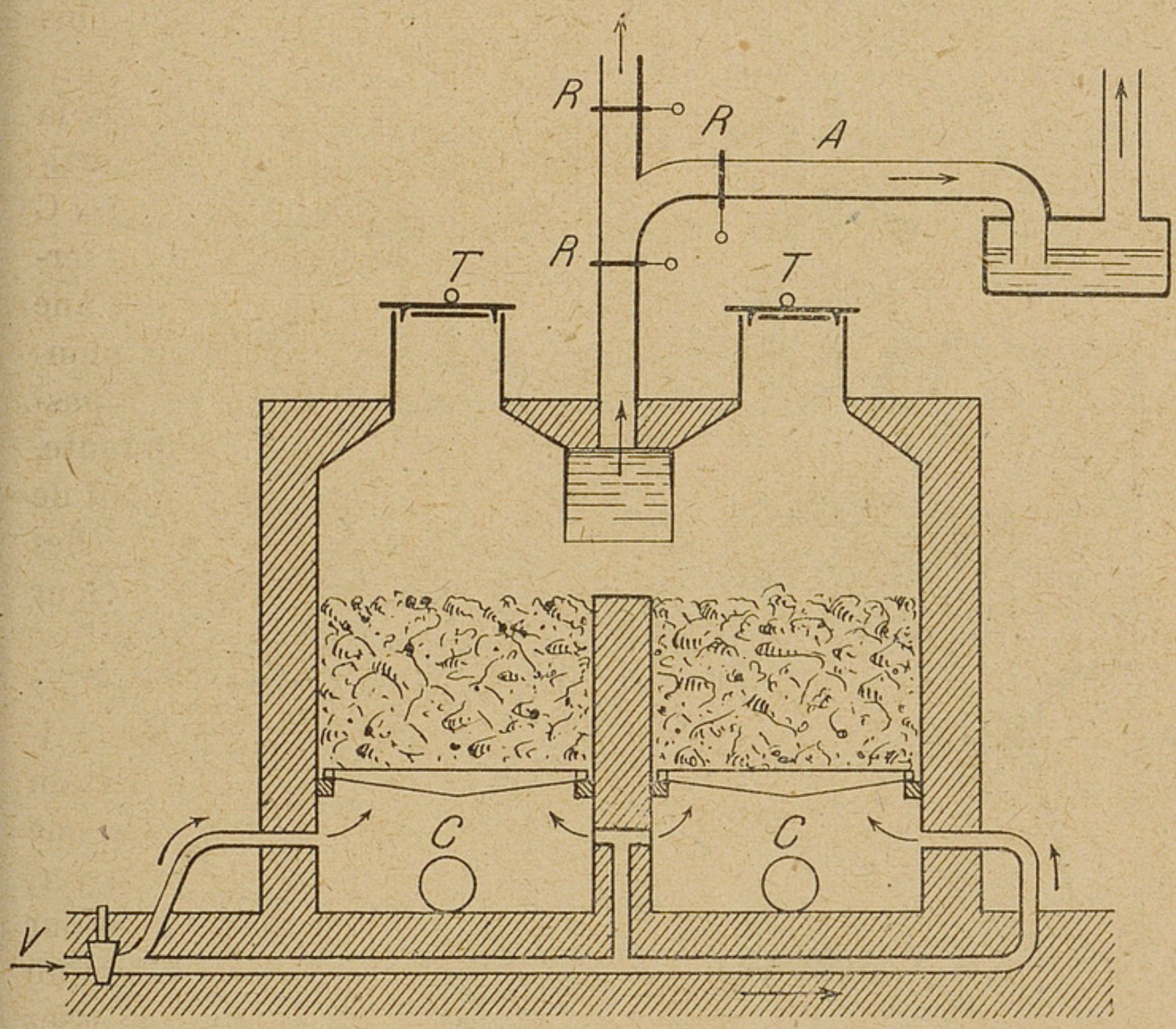


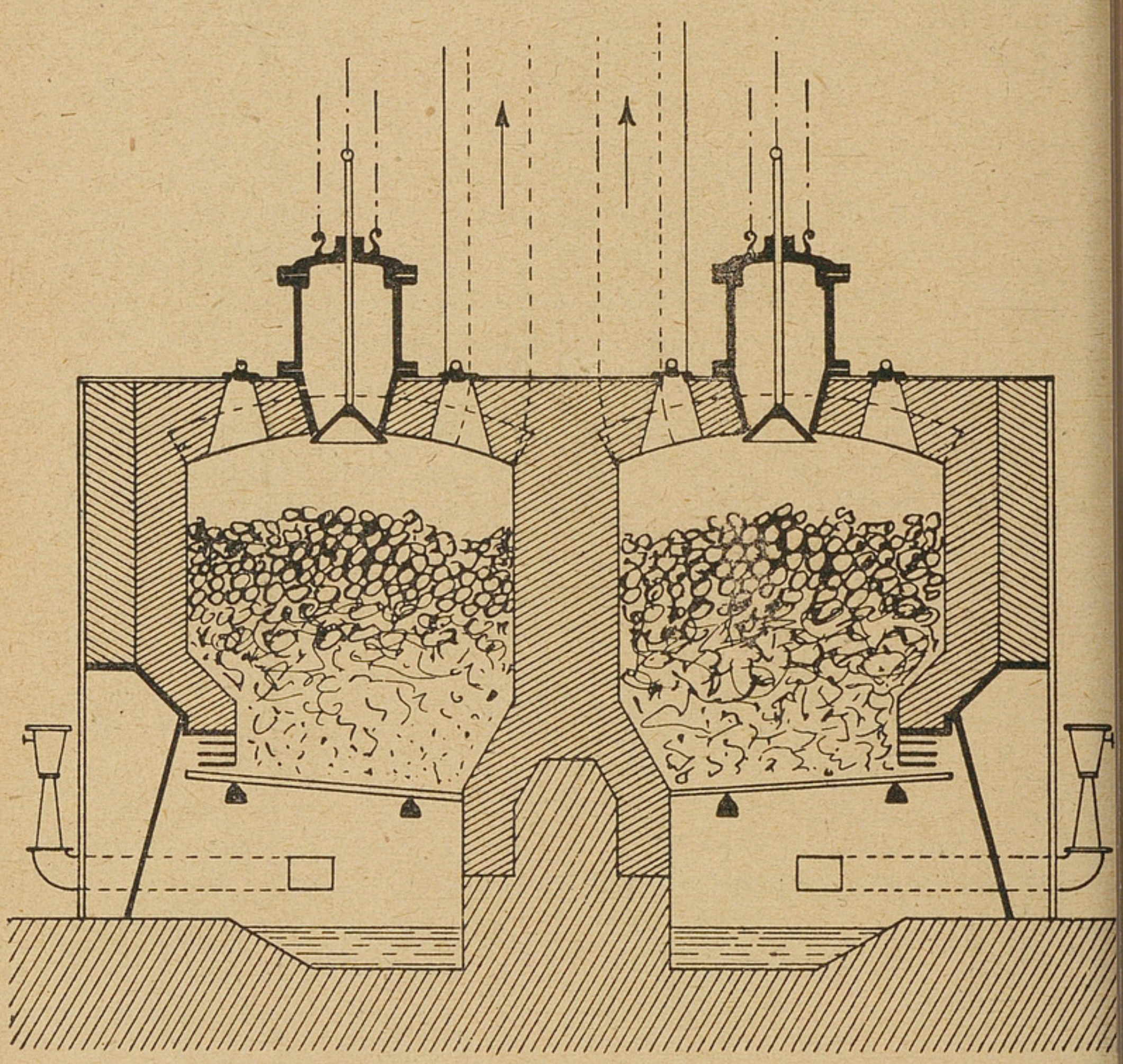
Fig. 27. — Gazogène Tessier du Motay.

sentent d'ailleurs certains inconvénients dus à leur haute teneur en hydrogène. J'ai cru devoir rappeler ces faits avant d'entrer dans le détail de la description des appareils, parce que ceux-ci varient de formes suivant l'application que l'on a en vue.

Je ne m'occuperai que très subsidiairement de la carburation du gaz à l'eau, et seulement lorsque cette opération s'effectuera dans le gazogène lui-même.

Les appareils à marche continue ne seront décrits qu'à la

suite des appareils à marche discontinue. Il y aura lieu aussi de distinguer entre les gazogènes qui font accessoirement du gaz à l'air que l'on cherche à utiliser.



St. u. E. 112

Fig. 28. — Gazogène Tessier du Motay.

1. **Gazogène Tessier du Motay.** — C'est un des premiers gazogènes de l'espèce et il en est resté le prototype, bien qu'il ne soit jamais sorti de la médiocrité.

L'appareil est à deux cuves. Il fonctionne ainsi : on insuffle d'abord de l'air dans les deux cuves, pour porter le charbon qu'elles contiennent à une température de 1000° pour le moins ;

puis on charge du combustible frais dans l'une des cuves, dans celle de gauche par exemple de notre dessin (figure 27) par la trémie T ; à ce moment, on introduit de la vapeur d'eau au bas de cette même cuve et l'on dispose les choses de manière à ce que les produits traversent la seconde cuve. Ils marchent donc de bas en haut dans la première chambre, de haut en bas dans la seconde : c'est dans celle-ci que prend naissance le gaz à l'eau. Au bout d'un certain temps, on réchauffe de nouveau les deux cuves par un passage de vent, qui durera quelques minutes, juste le temps nécessaire pour réveiller l'ardeur du feu, et l'on recommence ce qu'on avait fait tout à l'heure, avec cette différence que cette fois-ci c'est dans le compartiment de droite que l'on charge du charbon, et que c'est par la partie inférieure que l'on fait entrer la vapeur. Et ainsi de suite.

La vapeur arrive par la canalisation V, le vent par les bouches C. Une cheminée, fermée par un registre d'arrêt R, s'élève au centre de l'appareil double : on n'ouvre ce registre que dans les phases de soufflage à l'air ; les registres de distribution, montés sur les deux branches de l'Y, permettent de jeter les produits de la combustion dans l'atmosphère ou de les recueillir.

La figure 28 montre une disposition un peu différente des choses, mais le résultat final est le même.

Le rendement de ce gazogène était médiocre, surtout lorsqu'on n'utilisait pas le gaz à l'air ; la couche de combustible était trop épaisse pour assurer une combustion entière en CO^2 et l'on fabriquait fatalement du CO.

Mais ce n'était qu'un appareil de début.

2. **Gazogène Strong.** — Notre compatriote avait fait ses expériences à New-York en 1876, sous les yeux des Américains qui ne sont pas myopes et savent développer les inventions qu'on leur apporte.

Strong fut un des premiers à utiliser le procédé ; G. Richard décrit déjà son gazogène dans le premier tome de ses *Moteurs à Gaz*, imprimé en 1885, d'où l'on est autorisé à reporter aux premières années 80, la naissance de cet appareil, qui est décrit par la figure 29. Strong a renoncé aux cuves jumelées. Il cons-

truit une cuve verticale de grande hauteur B, portant une grille à sa partie inférieure ; on la remplit de charbon, par la trémie T, munie d'un concasseur C, qui doit débiter des gaillettes et non pas des poussières. Latéralement à cette cuve sont disposées deux colonnes de même hauteur, remplies d'empilages en briques réfractaires R ; la première présente à son sommet une ouverture de nettoyage, la seconde S, est surmontée d'une

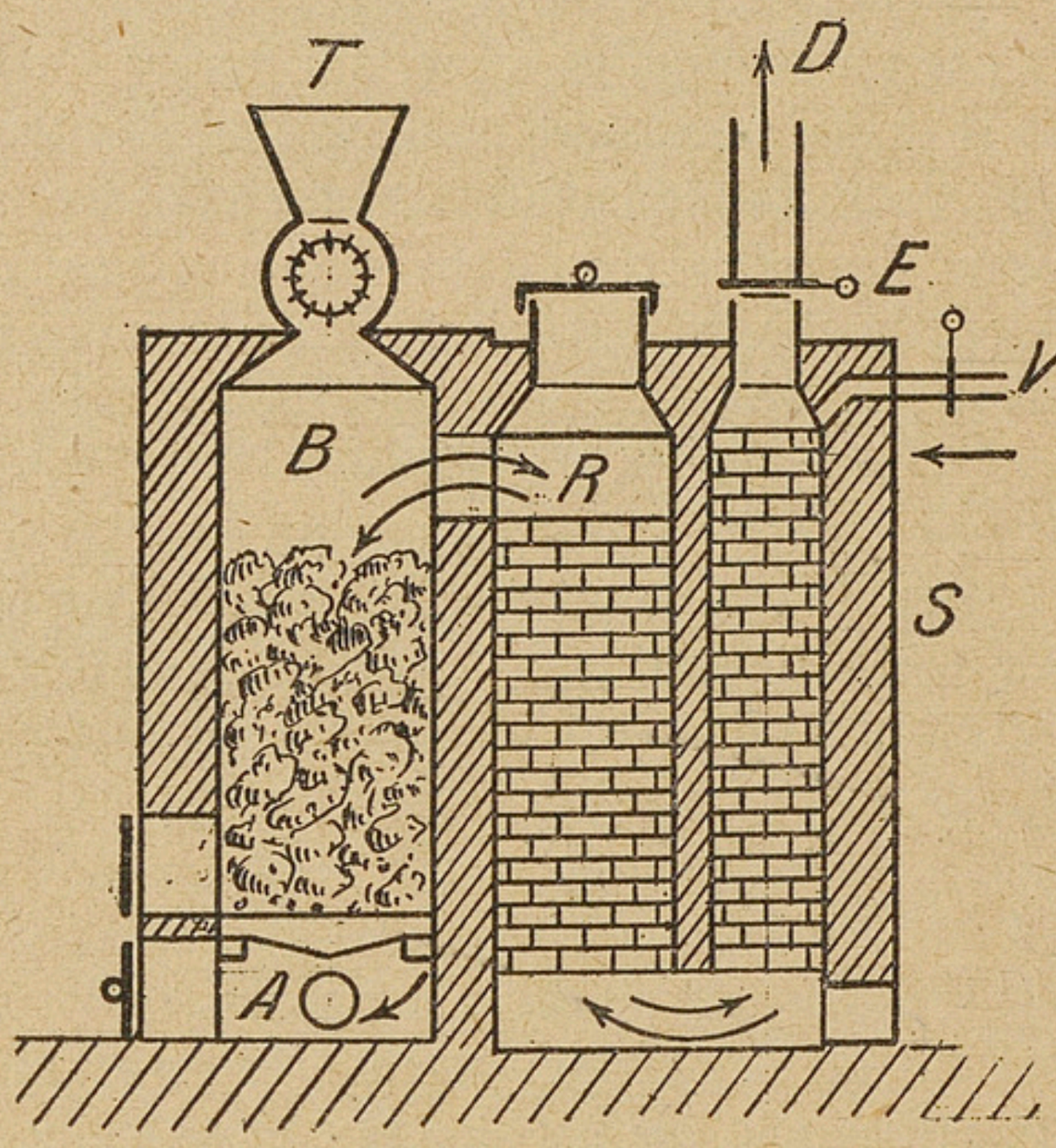


Fig. 29. — Gazogène Strong.

cheminée D. On voit dessiné sur le côté, à droite, un tuyau V communiquant avec une chaudière à vapeur.

Le fonctionnement se comprend aisément. On souffle d'abord du vent primaire par la partie inférieure de la cuve de gazéification, et, vu la grande hauteur de la couche de combustible, on produit du gaz à l'air, qu'on fait brûler dans les empilages en lui fournissant l'air secondaire nécessaire à sa combustion. Les produits de cette combustion sont des fumées, des gaz brûlés, qu'on rejette par D. Lorsque les briques ont atteint le rouge, on suspend l'arrivée de l'air et l'on fait entrer, par V, de la vapeur d'eau qui se surchauffe, parcourt en sens inverse le

chemin des gaz et descend de R en A, en traversant de haut en bas les couches de combustible incandescent. La prise du gaz se trouve à la partie inférieure de la cuve ; on la voit en A. On recommence l'opération, quand l'incandescence du charbon paraît diminuer.

D'après Moore, cité par Richard, le gaz aurait la composition ci-dessous en volume :

H	52,76
CO	35,08
Carbures	4,11
CO^2	3,05
O	0,77
Az	4,23
	100,00

On peut aussi recueillir par moments du gaz à l'air, en ne brûlant dans les colonnes R et S qu'une partie du gaz sortant de la cuve en phase d'insufflation du vent: mais alors on allonge la durée de cette période. En soufflant à l'air onze minutes et faisant du gaz à l'eau quatre minutes, on obtient par kilogramme de houille 1.130 litres de gaz à l'eau et 3.130 litres de gaz Siemens.

3. **Gazogène Lowe.** — Il ne diffère du précédent que par la disposition relative de la cuve de gazogène et de la colonne à empilages, qui a été imposée par le dessein que l'on a formé de carburer le gaz à chaud ; à cet effet, les briques portées au rouge reçoivent une aspersion d'huiles lourdes, qui sont entraînées par la vapeur et traversent la cuve de haut en bas avec elle. L'addition du pétrole n'a d'autre objet que de rendre le gaz éclairant.

4. **Gazogène Strong-Goodyear.**— Le fonctionnement des précédents appareils était forcément intermittent ; on laissait perdre la chaleur sensible du gaz à l'eau produit, ce qui pouvait être regretté. Strong, en association avec Goodyear, chercha à récupérer ce calorique et à constituer un ensemble, fournissant tour à tour du gaz à l'air et du gaz à l'eau, qu'on pouvait

recueillir séparément ou bien mélanger, suivant les applications qu'on projetait de faire.

L'appareil Strong-Goodyear est représenté par la figure 30.

C'est un appareil double : la cuve A est flanquée de droite et de gauche de colonnes à empilages RS, destinées à régénérer le calorique.

La légende ci-dessous fera connaître les usages des diverses conduites et valves indiquées sur notre dessin.

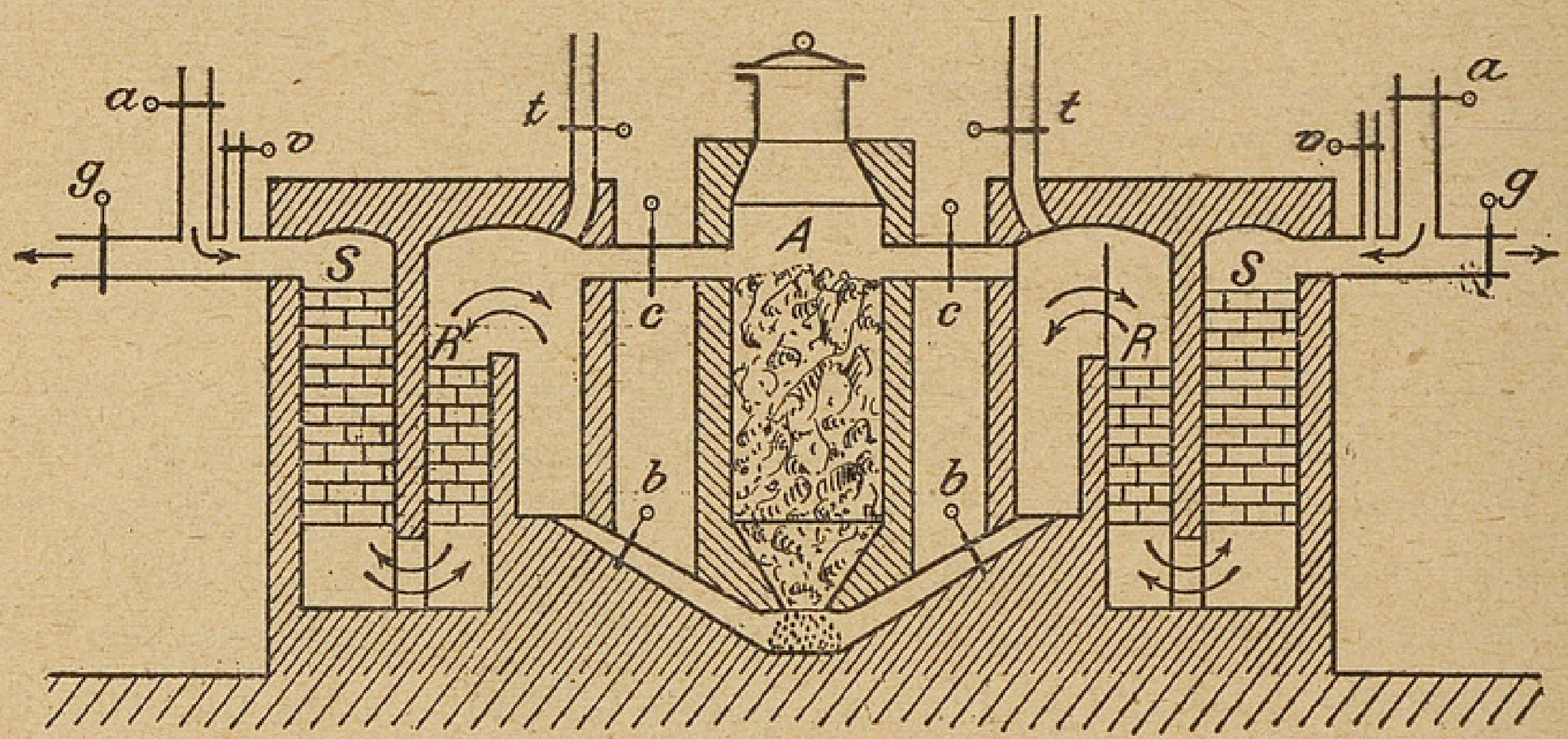


Fig. 30. — Gazogène Strong-Goodyear.

tt : admissions d'air ;
vv : admissions de vapeur ;
aa : départ vers la cheminée ;
gg : départ des gaz vers les gazomètres ;
bb : introduction d'air et de vapeur dans le bas de la cuve ;
cc : passage supérieur de la cuve aux empilages.

Supposons d'abord faite une opération préliminaire, ayant pour objet de chauffer à une température élevée les empilages R et S de droite et de gauche, en y brûlant du gaz à l'air, produit par la cuve centrale A, par adjonction d'air secondaire par *t*. Les gaz brûlés ont été évacués à la cheminée par *a*. Voilà donc tout l'appareil porté à une haute température.

Ne donnons maintenant que de la vapeur par la gauche ; elle se surchauffe au contact du régénérateur qu'elle traverse ; par

c, elle entre à la cuve ; il se fabrique du gaz à l'eau, qui sort par *b*, cède encore de la chaleur et va au gazomètre par *g* sur la droite.

Mais cette production de gaz à l'eau refroidit la cuve A ; il faut raviver la combustion ; pour cela, on donnera de l'air par la droite ; il récupère les calories abandonnées par le gaz à l'eau, dans la phase antécédente, traverse la cuve, y fait du gaz à l'air, qu'on brûle en partie et dont on recueille le reste. Les températures étant rétablies, on fait suivre le courant d'air par un courant de vapeur, qui ira dans la cuve de haut en bas, mais rejoindra le gazomètre de gauche par *g*.

En somme, l'appareil engendre alternativement ou du gaz à l'air, ou du gaz à l'eau, mais produit toujours l'un ou l'autre.

C'est aussi compliqué qu'ingénieux. Je ne sais si cela a fonctionné quelque part avec succès ; G. Richard, auquel j'ai emprunté la figure de ce gazogène, ne le dit pas, et c'est plutôt de mauvais augure.

5. **Gazogène Strache.** — Il dérive du type Strong, mais la cuve est reliée à la colonne de régénération par deux conduits horizontaux, dont l'un part de la région moyenne de la charge du combustible, tandis que l'autre est situé au niveau supérieur ; une valve permet de faire passer les gaz par l'un ou l'autre chemin. Dans la phase de combustion et de réchauffement des empilages, le gaz Siemens formé se dégage par le conduit moyen ; il reçoit le volume d'air nécessaire à sa combustion et brûle complètement ; on fait entrer ensuite le courant de vapeur par l'extrémité du régénérateur, en le faisant marcher en sens inverse ; il pénètre dans la cuve par le conduit supérieur, traverse le charbon frais introduit par la trémie et entraîne avec lui les produits distillés vers le bas de la cuve, d'où il va au gazomètre. On voit donc que, dans la première période, l'air monte dans la cuve, mais qu'il n'en parcourt que la moitié ; au contraire, dans la phase de production de gaz à l'eau, la vapeur traverse toute la hauteur de la cuve en allant de haut en bas.

Ce gazogène a reçu un certain nombre d'applications en Allemagne et il y est estimé ; il permet d'employer non seulement

du coke, mais encore des maigres à longue flamme et des lignites.

6. **Gazogènes Delwick-Fleischer.** — Saluons ici l'application d'un principe nouveau, et d'un réel perfectionnement des procédés. On cherche à produire dans la cuve une combustion aussi vive et active que possible et complète ; pour cela, on augmente le vent, en usant d'une pression considérable d'insufflation, en même temps qu'on réduit au minimum l'épaisseur de la couche de combustible. Il suffit donc d'un volume d'air relativement faible et d'un temps très court pour accomplir la première opération. Les gaz brûlés trouvent une issue facile et immédiate par la trémie de chargement elle-même, transformée en cheminée. Dans la seconde phase du travail, on introduit la vapeur par le haut de la cuve et le gaz à l'eau se dégage par le bas. Mais le peu de masse de la couche amènerait un refroidissement trop rapide ; on y a obvié en partant d'une observation faite, c'est que la partie atteinte la première se refroidit le plus. On s'est donc décidé à faire arriver la vapeur tantôt par le haut de la cuve et tantôt par le bas. Il y a par conséquent des tuyaux de vapeur aboutissant au-dessus du combustible et d'autres, placés en bas, au niveau de la grille : une vanne ouvre et ferme alternativement les uns et les autres.

Le résultat pratique de ces diverses dispositions est considérable. Avec du coke bien criblé, pris en morceaux de la grosseur du poing, la phase de combustion ne dure plus que deux minutes, et la gazéification peut être prolongée quatre fois plus longtemps, soit huit minutes. Dès lors, on peut considérer la fabrication comme continue car, avec un gazomètre de volume suffisant, le débit de gaz à l'eau vers l'extérieur peut vraiment devenir continu.

De nombreux essais ont été faits sur ces appareils et ils ont établi leur bon fonctionnement. Avec 240 kilogrammes de coke, on a pu engendrer 575 mètres cubes de gaz, soit 2.400 litres par kilogramme, le pouvoir moyen du gaz étant de 2.600 calories. Ailleurs la production a atteint 2.500 litres de gaz à 2.800 ; à noter qu'il s'agit ici de pouvoir inférieur, selon la mode allemande, ce qui rend encore plus remarquables les

rendements correspondants de 82 et de plus de 90 ; celui-ci pourrait paraître incroyable à quelques-uns de nos lecteurs, qui oublieraient qu'il est question ici d'un rendement brut, dans le calcul duquel on ne fait pas entrer les calories apportées par la vapeur, ni l'énergie dépensée pour l'insufflation de l'air.

Quoi qu'il en soit, le système Dellwick-Fleischer est un des meilleurs que je connaisse ; il a été adopté par de nombreuses usines à gaz d'Angleterre et d'Allemagne avec un réel profit (1).

7. **Gazogène Kramers et Aarts.** — Ce gazogène se dispute avec le précédent l'importante clientèle des gaziers, auprès desquels il obtient aussi un grand succès ; il leur permet une utilisation intéressante du coke, dont ils ont quelquefois tant de mal à se débarrasser.

Nous retrouvons ici l'emploi d'une double cuve, mais il n'y a qu'un surchauffeur placé au milieu de l'appareil ; il se compose de deux colonnes verticales accolées, B' et B'', surmontées d'une cheminée commune (fig. 31), garnies toutes deux des mêmes empilages, et entièrement symétriques. Les deux cuves le sont aussi ; elles ont chacune leur trémie T, leur tuyau de vapeur V, leur sortie de gaz A ; entre elles, se voient des jeux de registres S et N, qui permettent la distribution du vent, amené par le tuyau central D.

Voici dès lors comment on fait fonctionner l'appareil. Les deux cuves étant chargées, on leur donne du vent à toutes deux ; l'air traverse le combustible et y fait du gaz Siemens, auquel s'ajoute l'air secondaire dont il a besoin pour brûler dans les empilages et s'échapper en fumée par la cheminée unique. Les briques sont rapidement amenées à la température convenable.

Ce résultat obtenu, on injecte de la vapeur par exemple au bas de la cuve de gauche et l'on y produit du gaz à l'eau, qui monte dans le régénérateur de gauche, redescend par celui de droite (ils sont maintenant disposés en série et non plus en bat-

---

(1) Le gazogène américain Slocum, dont on s'est beaucoup occupé, est du type Dellwick, à combustion complète et rapide; il est à alimentation centrale d'air et de vapeur ; sa cuve, très ventrue, ne permet guère les accrochages et se prête donc à l'emploi d'autres combustibles que le coke.

terie) et achève ses réactions dans la cuve C'' avant d'atteindre la sortie A. L'acide carbonique qui a pu se former dans la première cuve C' est réduit dans la seconde. C'est la première qui a

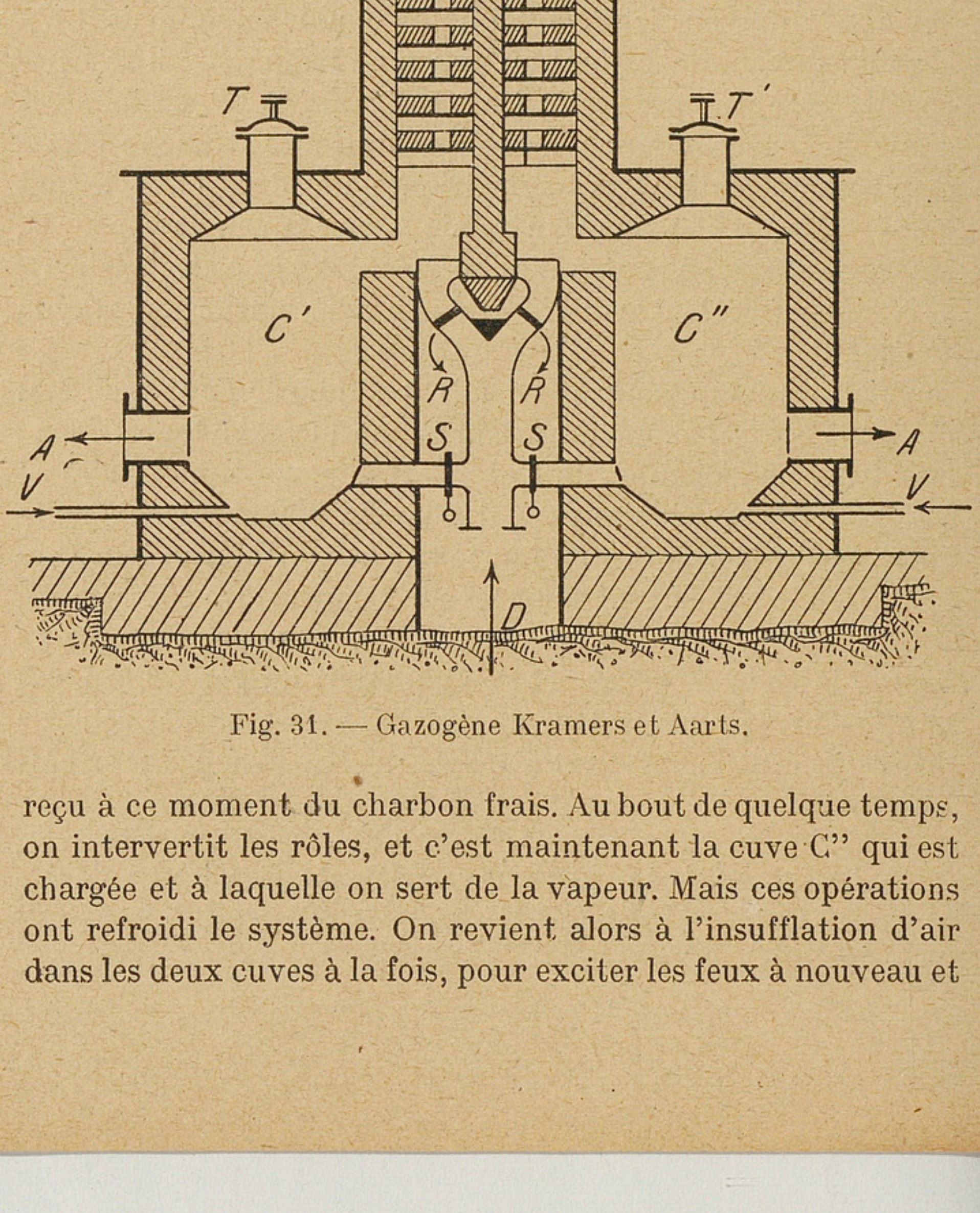


Fig. 31. — Gazogène Kramers et Aarts.

reçu à ce moment du charbon frais. Au bout de quelque temps, on intervertit les rôles, et c'est maintenant la cuve C'' qui est chargée et à laquelle on sert de la vapeur. Mais ces opérations ont refroidi le système. On revient alors à l'insufflation d'air dans les deux cuves à la fois, pour exciter les feux à nouveau et

réchauffer les régénérateurs au degré nécessaire. Les registres permettent de régler ces mouvements et ces admissions alternées d'air et de vapeur en temps opportun.

Je ne connais pas le rendement de ces appareils, dont M. Laverchère n'a pas fait mention dans son étude si bien documentée, parue dans le *Génie civil* en 1901 (1).

Il me reste à parler des gazogènes à fonctionnement continu, dont j'ai exposé le principe ci-dessus, et qui seraient séduisants, s'ils pouvaient donner des rendements satisfaisants. Mais il me semble que nous ne soyons pas encore sortis de la période des essais, et que peu de progrès aient été réalisés dans cette direction depuis la discussion qui eut lieu, en 1899, entre Lencauchez et MM. Riché et Manaut, à la Société des Ingénieurs civils. On y avait signalé une cornue de MM. Drumont et Trébouillet, dans laquelle des tuyaux de fer perforés amenaient un courant de vapeur surchauffée. En employant du charbon de bois, on avait obtenu un gaz renfermant en volume près de 50 p. 100 d'hydrogène et 44 p. 100 d'oxyde de carbone, avec seulement 5 p. 100 d'acide carbonique, ce qui était à certains égards une remarquable performance ; mais je ne crois pas que ces expériences aient abouti à des résultats industriels.

M. Deschamps a décrit dans son *Traité des Gazogènes* une création de M. Guénot ; on trouvera d'intéressantes indications sur ce gazogène dans cet excellent ouvrage.

Le gazogène Riché n'est pas à vrai dire un gazogène à l'eau ; nous en traiterons plus loin.

IV. — GAZOGÈNES AU GAZ MIXTE

Sous ce titre pourraient être rangés presque tous les gazogènes, attendu que maintenant tous admettent dans le foyer de l'air chargé de vapeur d'eau, délibérément ou parce qu'il n'en peut guère être autrement ; ils fabriquent donc tous du gaz mixte.

Comme il est indispensable néanmoins de subdiviser ce groupe,

---

(1) Laverchère. Le gaz à l'eau carburé, nº d'octobre 1901 du *Génie civil*.

nous le décomposerons en quelques sections distinctes, spécifiées par la manière dont est constituée la cuve de gazéification.

Et nous ferons passer au premier rang, chronologiquement, la catégorie devenue classique sous le nom de Dowson.

Mais, avant de nous engager dans la description d'appareils qui présentent entre eux de nombreux points de ressemblance, nous dirons pourquoi, sous des noms divers, nous trouverons des choses très peu diverses. De nombreuses dispositions de détail sont tombées dans le domaine public et appartiennent donc à tout le monde ; la nouveauté ne peut consister que dans leur combinaison, plus rationnelle ou plus pratique.

On serait tenté de passer sous silence des modèles que ne caractérise plus aucune particularité vraiment originale, et qui ne sont pas devenus des types. Mais il serait déplaisant de ne pas citer certains noms, et je n'ai pas eu le courage d'infliger le désagrément de paraître dédaigner des maisons qui ont beaucoup construit et bien vendu. Toutefois cette déclaration était nécessaire pour me faire pardonner des redites et quelques actes de complaisance.

Si je n'ai pas fait mention de quelques gazogènes, c'est que je n'ai eu pour eux aucune preuve d'exécution et que je les ai soupçonnés d'être restés à l'état de projets... brevetés.

Mes descriptions seront quelquefois plus ou moins fidèles, malgré la peine que j'ai prise de me bien documenter ; on me pardonnera les inexactitudes que j'ai pu commettre, aussi bien que les omissions dont je me suis rendu coupable.

Il est difficile en effet de définir, par un nom d'inventeur ou de constructeur, des appareils qui se sont transformés avec le temps en évoluant avec la mode, en prenant des formes variées et en affectant des dispositions entièrement différentes. Lencauchez et Letombe, par exemple, ont réalisé de nombreuses idées successives dans leur féconde carrière et leur œuvre se présente sous des titres divers ; pour eux et pour d'autres, on tombe dans la confusion : il faut s'y résigner, parce qu'on ne peut l'éviter.

Nous ne séparerons pas les gazogènes soufflés par injecteur ou par ventilateur, et les gazogènes fonctionnant par aspiration; il ne sera fait non plus aucune distinction relative à la nature du

combustible minéral, houille ou coke, nous réservant toutefois de ranger à part quelques appareils destinés au traitement des combustibles très spéciaux et présentant à cet égard des dispositions réellement particulières.

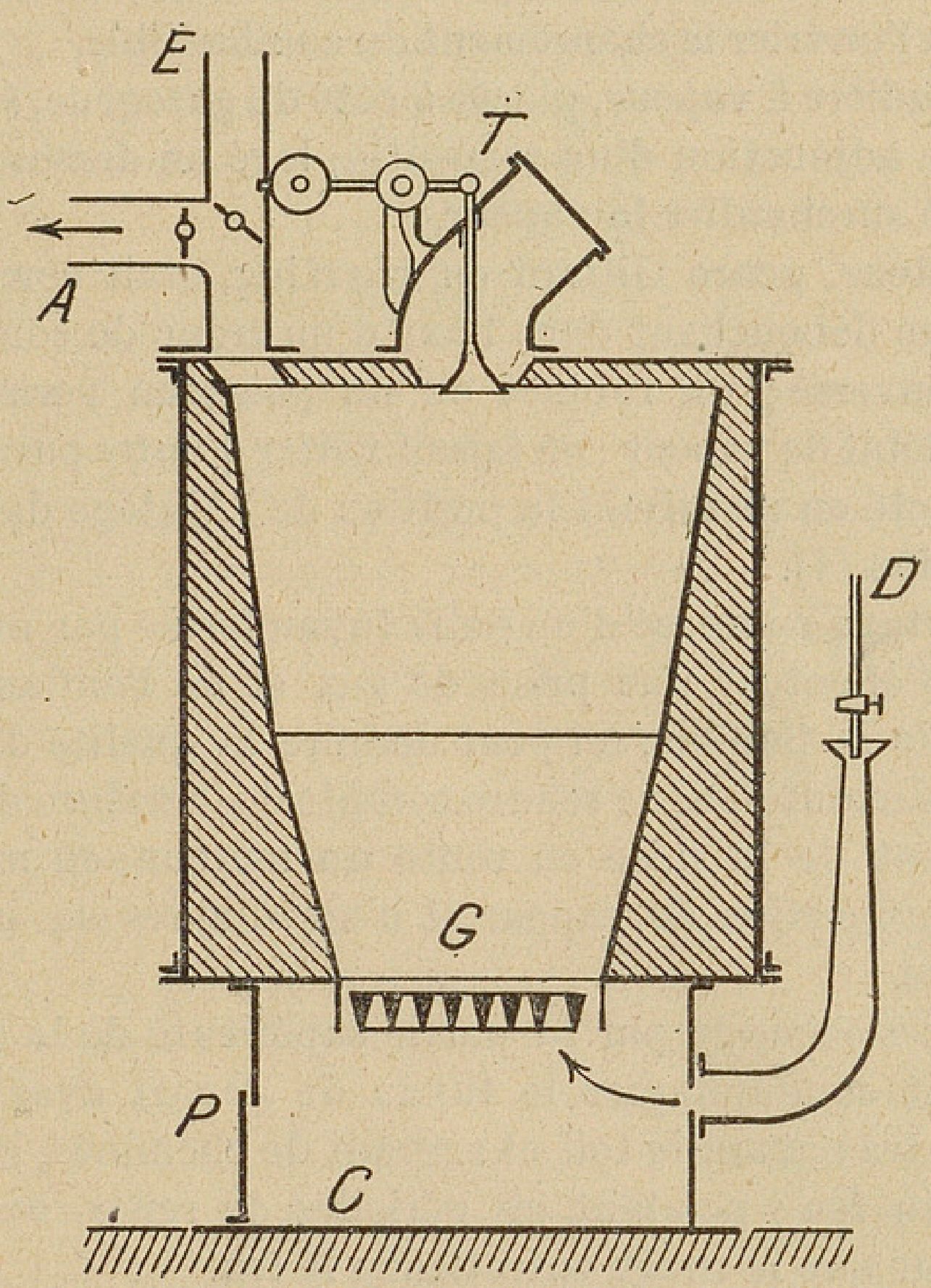


Fig. 32. — Gazogène Dowson primitif.

1. **Gazogène Dowson.** — C'est un des premiers de l'espèce ; il méritait donc de figurer en tête de ces monographies.

La cuve cylindrique de l'appareil primitif, remontant à l'année 1878, si je ne me trompe, était rétrécie à sa partie inférieure dans le but d'activer la combustion au voisinage de la grille (fig. 32). L'air, entraîné par l'injecteur à vapeur D, pénétrait dans le cendrier clos C. La garniture réfractaire de revêtement reposait sur un socle de fonte, fermé par une porte P, permettant le nettoyage de la grille en marche, et la sortie des

cendres et des scories à l'arrêt. L'intervalle compris entre les terres réfractaires et l'enveloppe en tôle ou fonte de la cuve était garni de sable isolant, de manière à réduire au minimum les pertes par rayonnement extérieur.

La trémie à fermeture conique et couvercle était inclinée pour faciliter à l'ouvrier le chargement du combustible.

La chaudière à vapeur, placée à côté du gazogène, était tubulaire avec adjonction d'un serpentin, logé au-dessus du foyer, en vue de surchauffer la vapeur.

L'injecteur, genre Giffard ou Kœrting, était constitué par un ajutage débouchant dans l'axe d'un tronc de cône concentrique renversé ; un robinet ou un pointeau permettait de régler le débit de vapeur ; on faisait varier d'autre part le volume d'air injecté en modifiant la position de l'ajutage dans le cône d'aspiration (1).

Un ajutage composé d'un petit tuyau fermé par un robinet, permet d'effectuer une prise de gaz et de l'enflammer ; de l'aspect de la flamme, on peut déduire la qualité du gaz ; on s'en sert surtout pour se rendre compte de la nature du produit au moment de la mise en route du moteur ; en marche, on règle la proportion de vapeur et d'air d'après la couleur de la flamme.

Le gaz s'échappe par la partie supérieure de la cuve ; une valve fait communiquer le tuyau de départ avec un autre tuyau E, traversant le toit et servant de cheminée, lors de l'allumage du feu ; pendant les périodes de repos, on ouvre la valve pour que le tirage entretienne le feu.

Dowson mettait sur le chemin du gaz un gazomètre dont la cuve était remplie de coke, arrosé d'eau, servant de scrubber. Quand la cloche atteignait le sommet de la course, elle agissait sur un levier qui commandait le débit de vapeur et supprimait momentanément l'insufflation.

MM. Pierron et Dehaitre ont été les premiers concession-

---

(1) L'injecteur à vapeur est simple et économique ; en dépensant 1 kilogramme de vapeur à 4 kilogrammes de pression, on arrive à aspirer 60 kilogrammes d'air ; l'air soufflé de la sorte, ayant environ 25° pour un ambiant à 10°, l'air contient 1,3 p. 100 d'humidité en poids. Ce sont des chiffres moyens, que je donne comme base d'appréciation

naires en France des brevets Dowson ; dans leur prospectus, ils déclaraient que le système avait déjà reçu de nombreuses applications industrielles. J'y relève deux indications qui ont de l'intérêt : ils déclaraient que, pour faire un mètre cube de gaz,

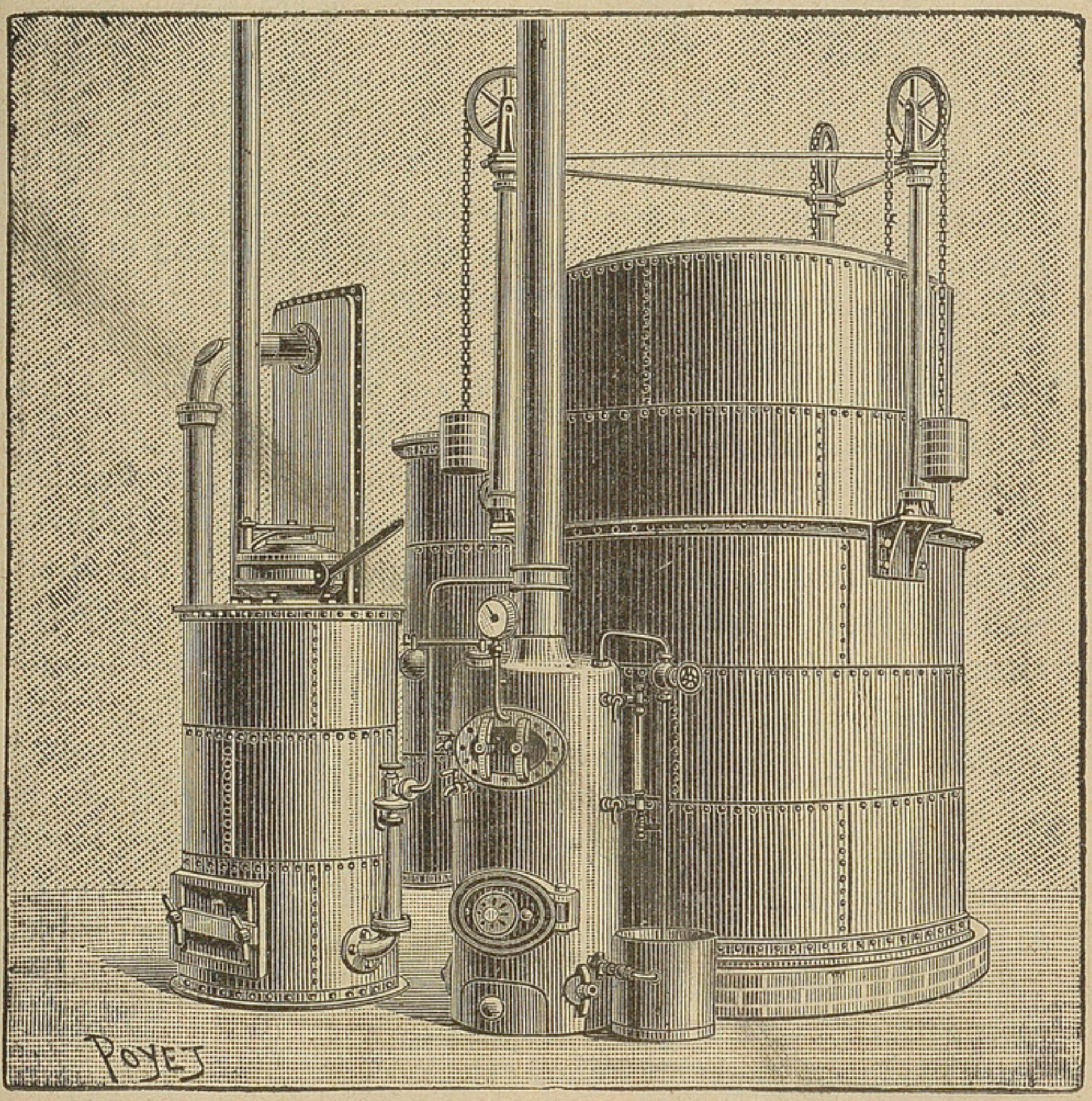


Fig. 33. — Groupe Dowson compact.

il fallait 190 grammes d'anthracite et 150 grammes de vapeur ; de plus, ils annonçaient que le cheval-heure effectif avait été obtenu, avec un moteur Crossley, par 679 grammes d'anthracite. On oubliait de parler de la dépense de coke dans la chaudière.

La gravure montrait une installation très ramassée des appareils, telle qu'elle se voit sur la figure 33.

Les prix annoncés étaient les suivants :

Puissance du moteur Otto	Prix total	Frais de montage
6 chevaux	4.050 fr.	360
8 chevaux	4.500 fr.	»
10 chevaux	5.250 fr.	»
12 chevaux	5.550 fr.	»

Le gazomètre mesurait 1 m. 825 de diamètre et 1 m. 825 de haut.

Les frères Crossley, en Angleterre et la maison Otto, de Deutz, furent immédiatement les clients de Dowson et contribuèrent beaucoup au succès remarquable de ce gazogène, bien conçu et très étudié dans ses moindres détails.

Mais Dowson ne s'en tint pas à ses premières idées et ses appareils subirent de nombreux perfectionnements.

A l'exemple de ses concurrents, il fit plus tard de l'aspiration et renonça dès lors à sa chaudière séparée ; il entoura le foyer d'un réservoir conique à circulation d'eau, dans lequel s'effectuait une vaporisation intense (fig. 34). Cette manière de faire est bonne, à condition d'employer de l'eau qui ne dépose pas de calcaire ; s'il se produit de l'entartrage, il faut gratter souvent l'intérieur de cette chaudière au risque de la brûler, ou même de la fondre, si elle est en fonte. Les deux dispositifs de la figure sont à peu près équivalents et n'ont pas besoin d'explication. On y suit bien le chemin de l'air et de la vapeur, en *e* ; il importe que le niveau *a* de l'eau soit aussi haut que possible, afin de ne pas exposer à l'ardeur du feu une surface de métal non couverte d'eau.

Sur la figure 35, la chaudière est placée au-dessus de la cuve, ainsi que cela se fait habituellement aujourd'hui ; ce dessin est extrait d'un prospectus de la maison Dowson and Mason, de Manchester. J'y lis que M. Dugald Clerk a effectué, en 1904, des expériences sur un appareil de ce genre, alimentant un moteur de 40 chevaux, et qu'il a constaté un rendement de 90 p. 100, en se servant d'anthracite ; il en a témoigné dans une « James Forrest Lecture » faite à l'Institution of Civil Engineers.

Les mêmes constructeurs ont établi un gazofacteur pour les charbons bitumineux dont nous parlerons plus loin.

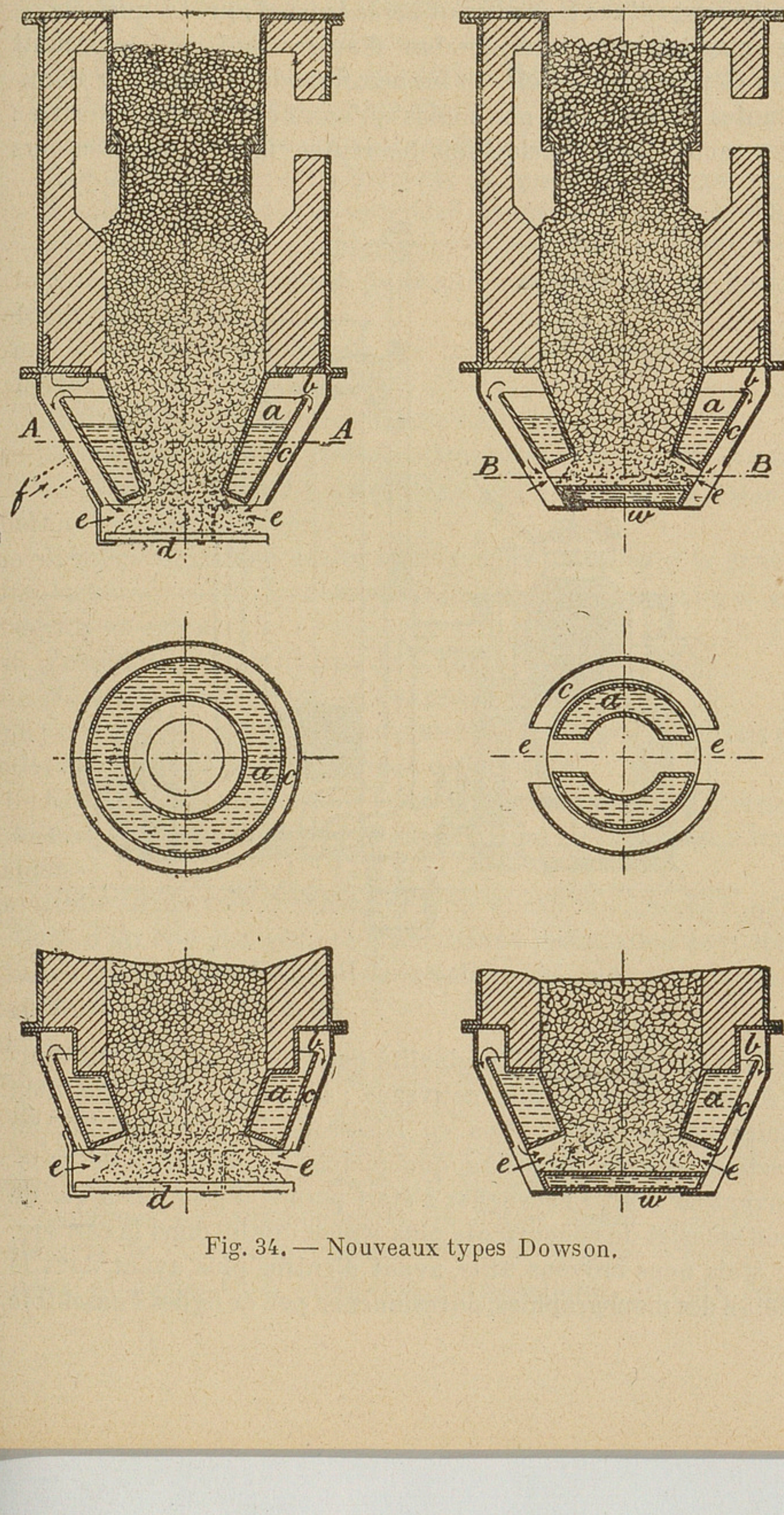


Fig. 34. — Nouveaux types Dowson.

Les gazogènes Dowson ont été le type, d'après lequel on en a imaginé un grand nombre d'autres qui ont reproduit ses éléments essentiels, en les accommodant aux idées dominantes du moment, non moins qu'aux besoins de l'industrie ; ces innovations, quelquefois heureuses, ne sont pas toujours

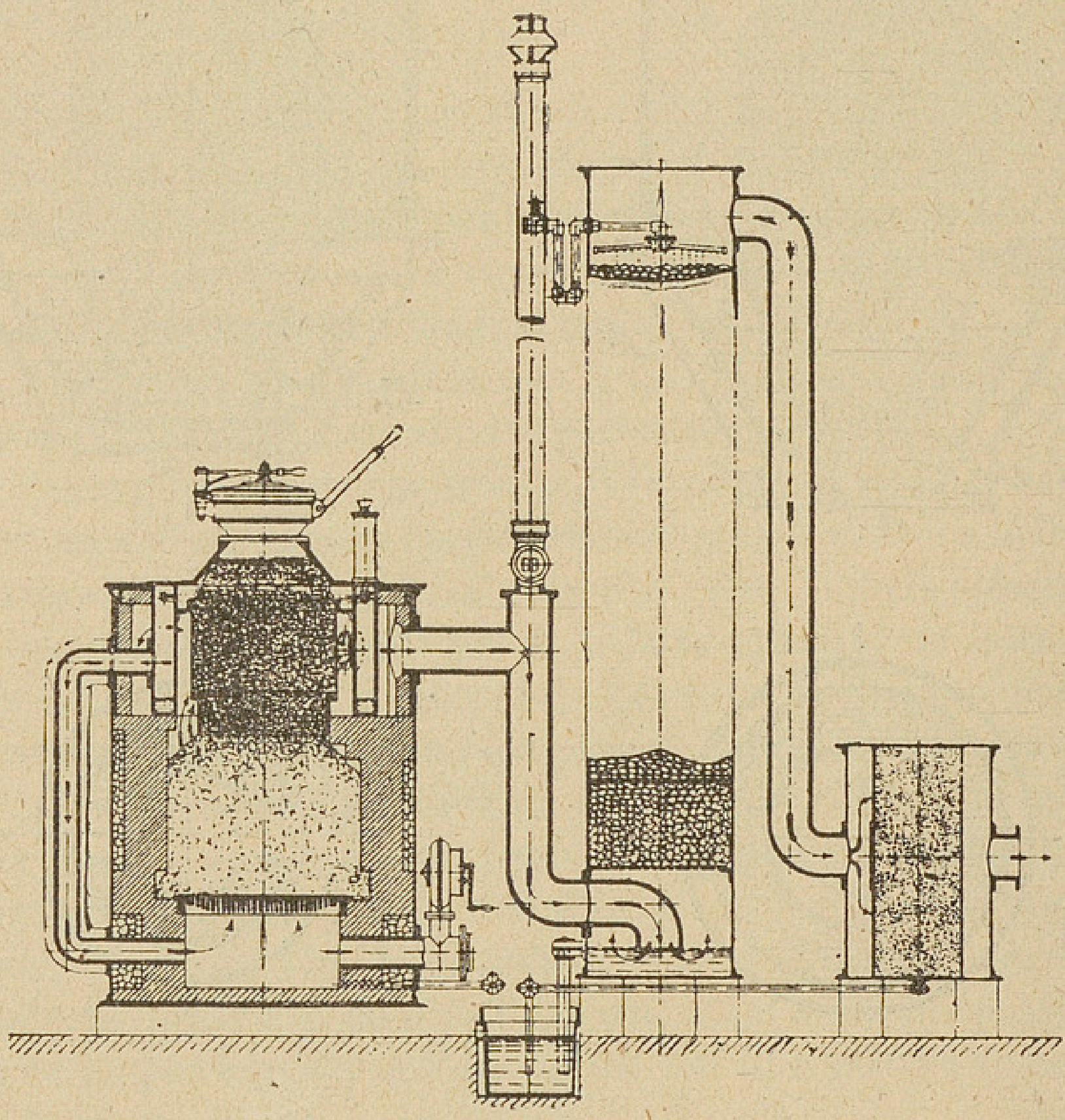


Fig. 35. — Gazogène Dowson-Mason.

marquées au coin de l'originalité que l'on serait en droit d'attendre de modèles dits nouveaux ; nous nous garderons d'en faire l'observation : nous en laisserons la responsabilité au lecteur, qui se rappelera quelquefois l'appellation de sous-inventeur dont Lencauchez s'était permis d'user vis-à-vis de collègues et de concurrents plus jeunes que lui dans la carrière.

Mais nous croyons utile, avant d'entrer plus avant dans le détail des monographies, de résumer en peu de lignes l'ensemble

des conditions que doivent réaliser surtout les bons gazogènes destinés spécialement à alimenter des moteurs ;

Facilités de chargement du combustible ;

Sa bonne répartition dans la cuve ;

Liberté de descente des charges dans la cuve ;

Possibilité d'aider cette descente par un coup de ringard ;

Regards permettant de se rendre compte de l'allure du feu ;

Suppression des cheminées dans la masse du combustible ;

Atténuation de l'action destructive exercée sur les garnitures réfractaires ;

Etanchéité de l'appareil, des trémies, des regards et des portes ;

Réduction des pertes de chaleur vers l'extérieur ;

Décrassage aisé de la grille sans troubler la production du gaz;

Réglage rationnel des quantités d'eau pulvérisée ou vaporisée introduite au foyer ;

Réglage simultané des quantités d'air fournies à la cuve ;

Assurance contre les retours de flamme par les trémies et les portes en service ;

Possibilité d'appréciation de la qualité du gaz débité ;

Même possibilité pour les quantités ;

Constatation aisée du mouvement du gaz, par des prises et des manomètres placés aux lieux d'élection ;

Enfin, toutes précautions pour que rien ne vienne contrarier le bon fonctionnement de la gazéification à l'insu du conducteur.

Nous allons voir comment et dans quelle mesure ces conditions d'un bon gazogène et d'une bonne installation sont réalisées dans les divers appareils concurrents, qui se disputent les préférences des industriels.

2. **Gazogène Otto.** — Il est sorti des célèbres ateliers de Deutz de nombreux modèles de gazogènes.

On se contenta longtemps d'exploiter les brevet Dowson, dont on avait acquis la licence en Allemagne.

Quelques perfectionnements de détail furent apportés à l'œuvre de l'ingénieur anglais. Ainsi on imagina d'employer deux et même trois injecteurs indépendants, afin de faire

varier, dans une limite plus étendue, la quantité d'air et de vapeur fournie au foyer, et de gouverner plus aisément son allure ; c'était bien pensé, mais la solution constituait une compli-

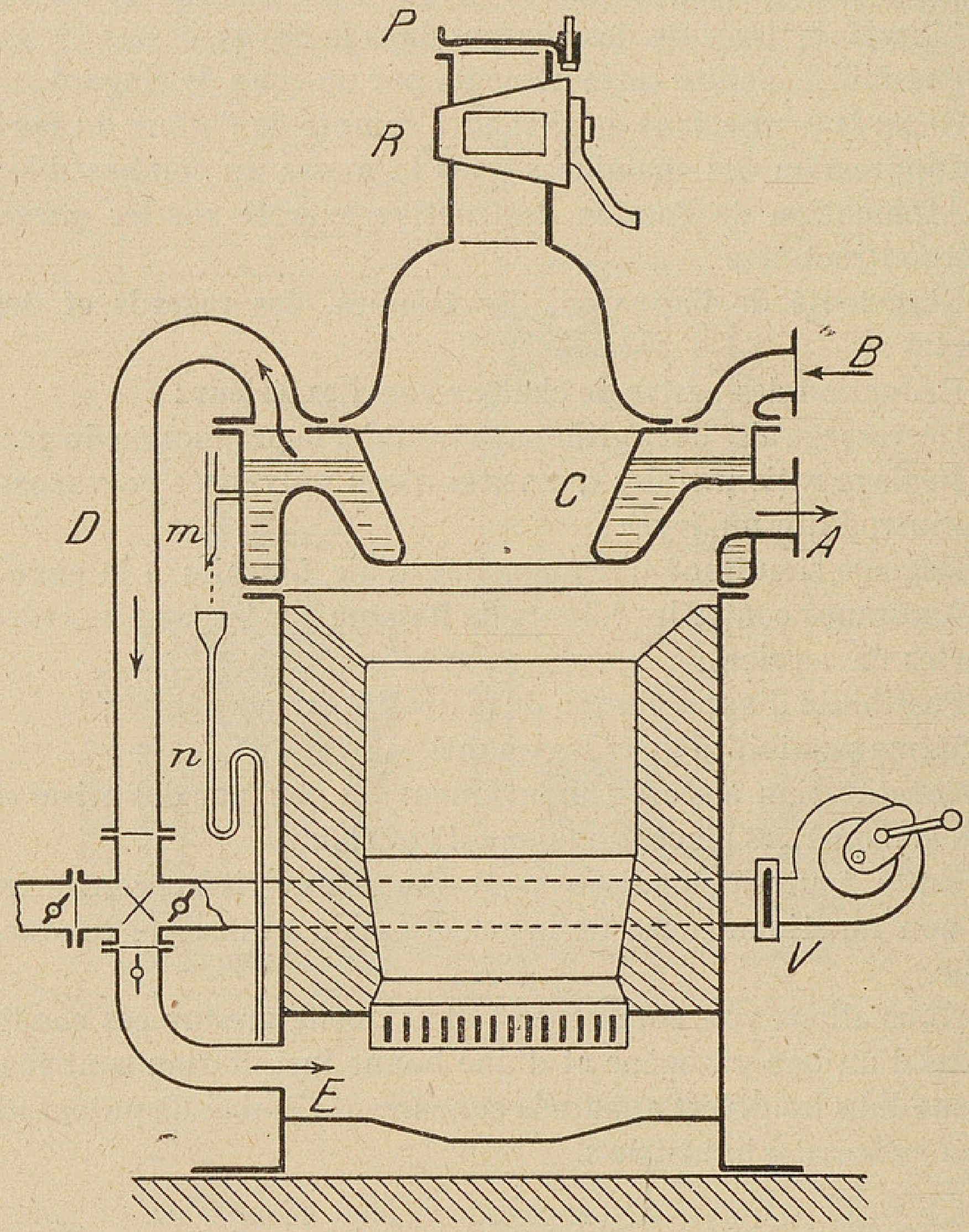


Fig. 36. — Gazogène Otto de Deutz.

cation. On eut l'idée de glisser devant les portes du cendrier des blocs de terre réfractaire pour protéger les fontes contre le rayonnement excessif du foyer. Plus tard, une cloison vint former barrage devant l'orifice de sortie des gaz, ce qui forçait les produits volatils de s'infléchir et de traverser la zone d'in-

candescence. Quelquefois on recouvrait le couvercle du gazogène d'une couche d'eau, pour le maintenir froid.

La figure 36 représente un de leurs derniers gazogènes à aspiration, avec chaudière C supérieure, trémie supérieure P

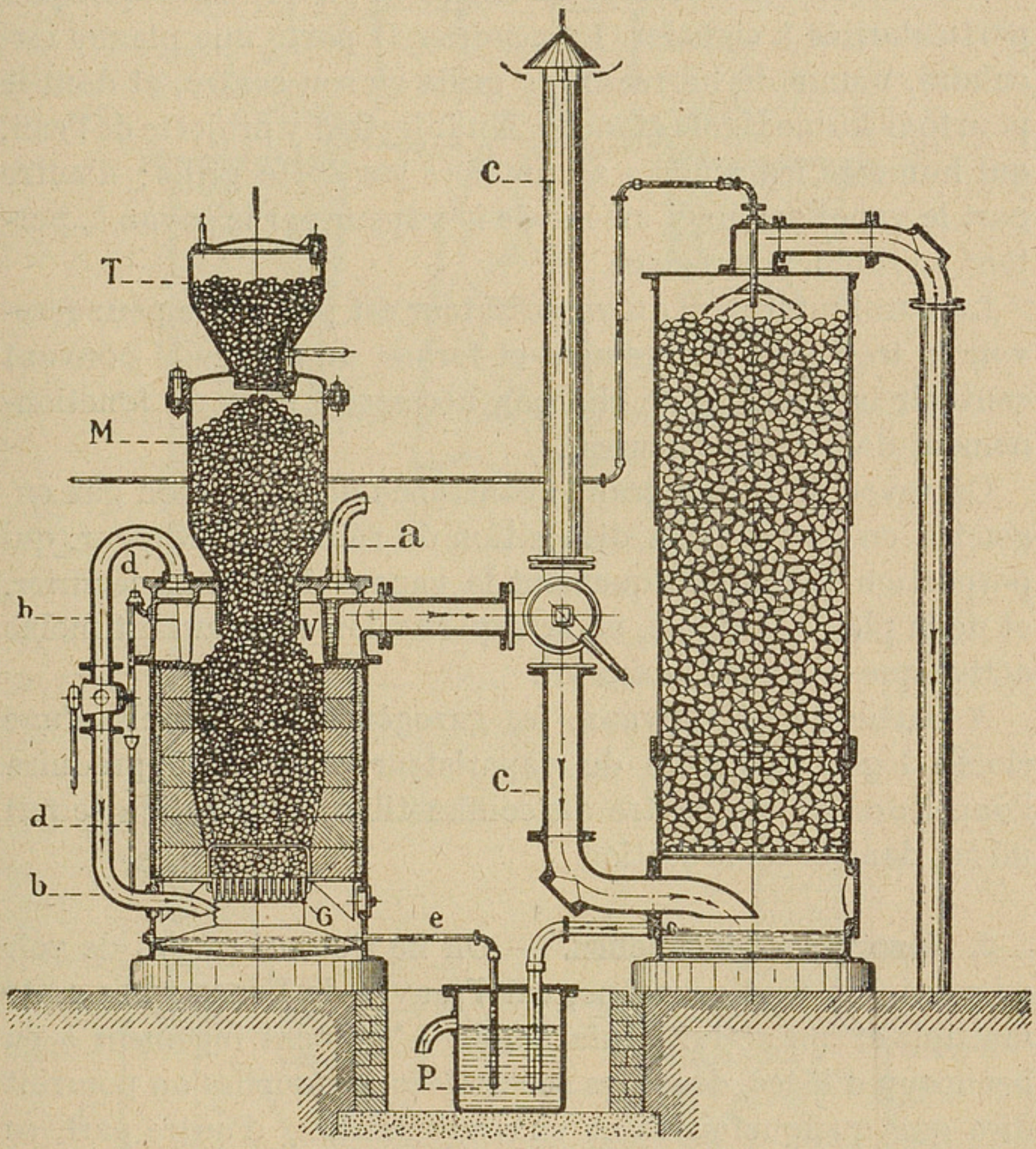


Fig. 37. — Gazogène Otto de Paris.

à robinet R, entrée d'air B, tuyau d'air D, amenée d'air sous grille G, etc. Aucune explication n'est nécessaire. Sur la droite, ventilateur à main V pour mise en route, avec départ à la cheminée d'abord : c'est le dispositif en usage partout aujourd'hui.

Tous ces gazogènes ont joui d'une bonne réputation, mais ils n'ont guère présenté de dispositions bien originales, ce qui est

du reste le cas de la plupart des appareils que nous décrivons dans ce chapitre.

La Société de moteurs à gaz et d'industrie mécanique, qui a renié toute accointance avec les ingénieurs de Deutz, exploite actuellement le modèle de la figure 37 ; il présente quelques particularités à signaler. Le cendrier G porte une plaque circulaire, munie de barreaux de grille en son centre, et dont le pourtour forme rigole étanche. Un injecteur y projette de l'eau, qui humecte les cendres accumulées sur cette grille ; d'autre part le vaporisateur V amène de la vapeur par le tuyau *b*, portant un robinet de réglage.

La paroi intérieure du vaporisateur est prolongée pour recevoir la trémie de chargement et former un espace M pouvant contenir la quantité de charbon nécessaire pour un fonctionnement de quelques heures.

On revendique une grande constance de qualité du gaz engendré, en vertu de la disposition du robinet de vapeur, qui porportionne automatiquement la vapeur donnée au cendrier, et de la plaque à rigole, où la vaporisation est d'autant moins active que le feu est moins vif.

A partir de 80 chevaux, les gazogènes sont munis d'une cloche logée au centre du vaporisteur, destinée à produire l'appel des gaz au centre du combustible ; l'aspiration se fait mieux dans toute la section.

3. **Gazogènes Lencauchez.** — On ne s'étonnera pas de voir au pluriel le mot gazogène, car l'œuvre de Lencauchez a été multiple et son activité infatigable. L'éminent ingénieur a eu beaucoup d'idées, des idées successives, desquelles on pourrait dire que quelquefois l'une chassait l'autre ; d'autre part, sa notoriété lui valait d'être appelé à traiter des problèmes extrêmement différents, et d'approprier ses créations à des applications variées. Nous l'avons déjà vu perfectionnant les appareils Siemens et leur adaptation au chauffage des fours ; plus tard, quand le moteur à gaz demanda des gaz aux gazogènes, Lencauchez s'intéressa vivement à cette orientation nouvelle de la gazéification, que rien n'avait pu lui faire prévoir au début de sa brillante carrière.

Je crois que l'appareil de la figure 38 est un des premiers que Lencauchez ait conçus dans cette voie. Ce qui est sa caractéris-

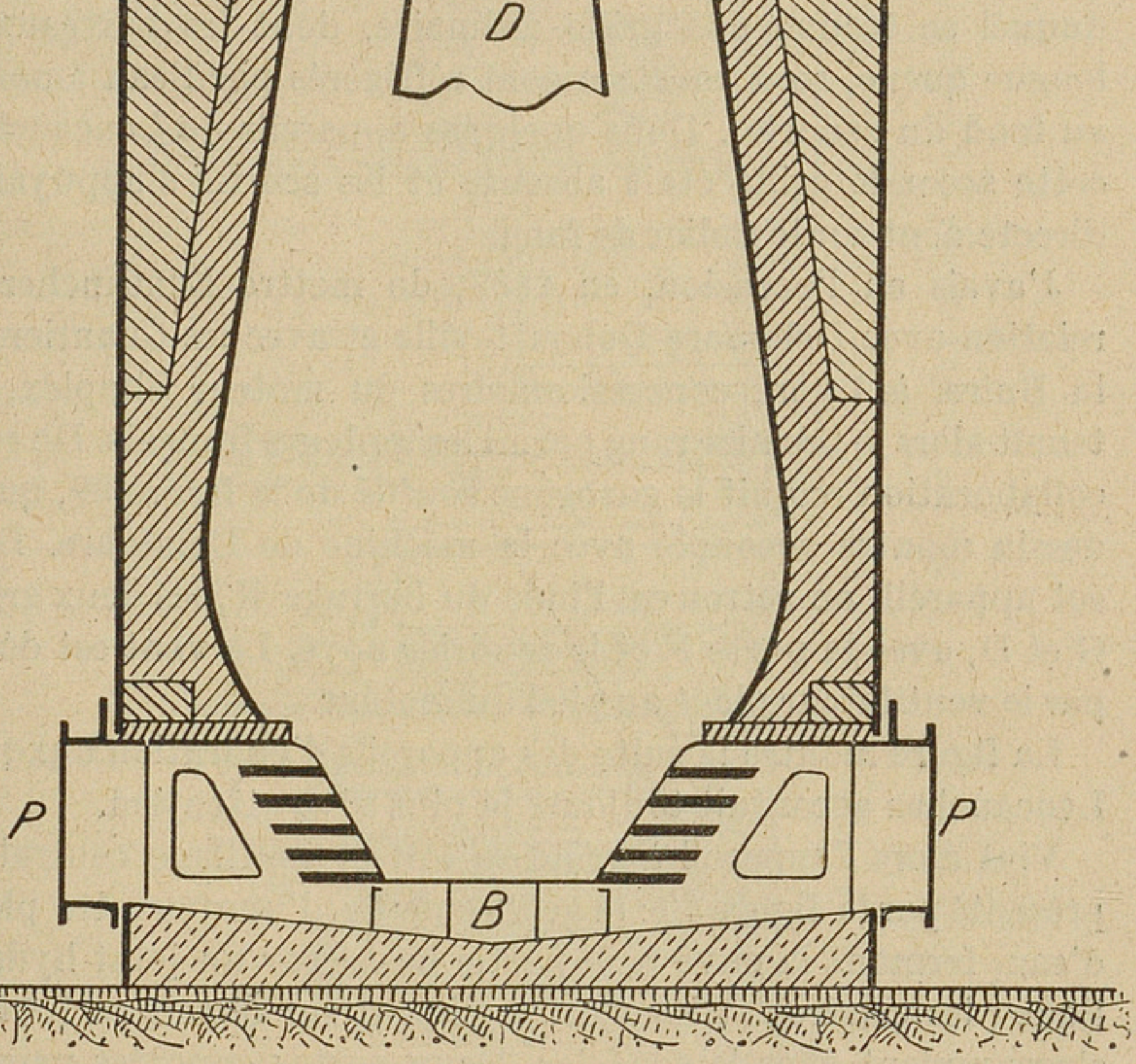


Fig. 38. — Gazogène Lencauchez.

tique, c'est la prise centrale de gaz D, dentelés à sa section inférieure ; l'idée est rationnelle. Et d'abord les gaz ne peuvent

suivre les parois intérieures de la cuve, et ne montent pas le long des cheminées qui tendent toujours à s'y former ; la dentelure ne leur permet pas de former de grosses bulles et elle opère un brassage utile de leurs éléments ; enfin, les charbons introduits par les trémies T, s'échauffent et distillent leurs produits volatils, qui sont contraints de venir prendre contact avec le coke incandescent avant de rejoindre les gaz débités. Nous trouvons là le germe du tirage renversé qui avait du reste déjà séduit d'autres inventeurs.

La grille est double. Il y a d'abord des barreaux à gradins, disposés en face des portes P ; au moment du décrassage du feu, on déplace ces barreaux et l'on peut même les retirer, si le besoin s'en fait sentir. Cette grille forme un cratère au fond duquel se trouve une grille ordinaire, dont les barreaux, à longue queue, sont constamment réfrigérés par l'eau amassée au fond du cendrier. Dans quelques appareils de Lencauchez, cette seconde grille était absente et les scories s'appuyaient directement sur le radier de fond.

J'avais eu l'occasion, en 1888, de mettre Lencauchez en relation avec Delamare-Debouteville et avec les Chantiers de la Buire, à Lyon, concessionnaires du moteur Simplex, qui tenait alors le premier rang parmi les moteurs français. De cette collaboration naquit le gazogène soufflé de la figure 39, que le dessin montre accouplé avec la machine de Delamare. Dans cet appareil, on retrouve l'idée du barrage K, les deux grilles G et D, avec la porte F et le cendrier noyé. Le vent est donné par le ventilateur placé au pied du moteur.

La figure montre la suite des appareils d'épuration auxquels Lencauchez accordait toujours la plus vive attention.

Vint alors l'appareil à grille en toit et soufflage central représenté par la figure 40 : la grille émerge d'une cuvette pleine d'eau, fermant la cuve à sa partie basse par un joint hydraulique ; les cendres et les scories glissent sur le toit en fonte et s'accumulent dans le cendrier. Deux portes opposées permettent de nettoyer le feu et de détacher les mâchefers, qui s'attachent aux fontes et aux terres réfractaires.

Ce modèle fut légèrement modifié pour l'Exposition de Paris de 1900 (figure 41) ; une seconde grille soutenait les cendres.

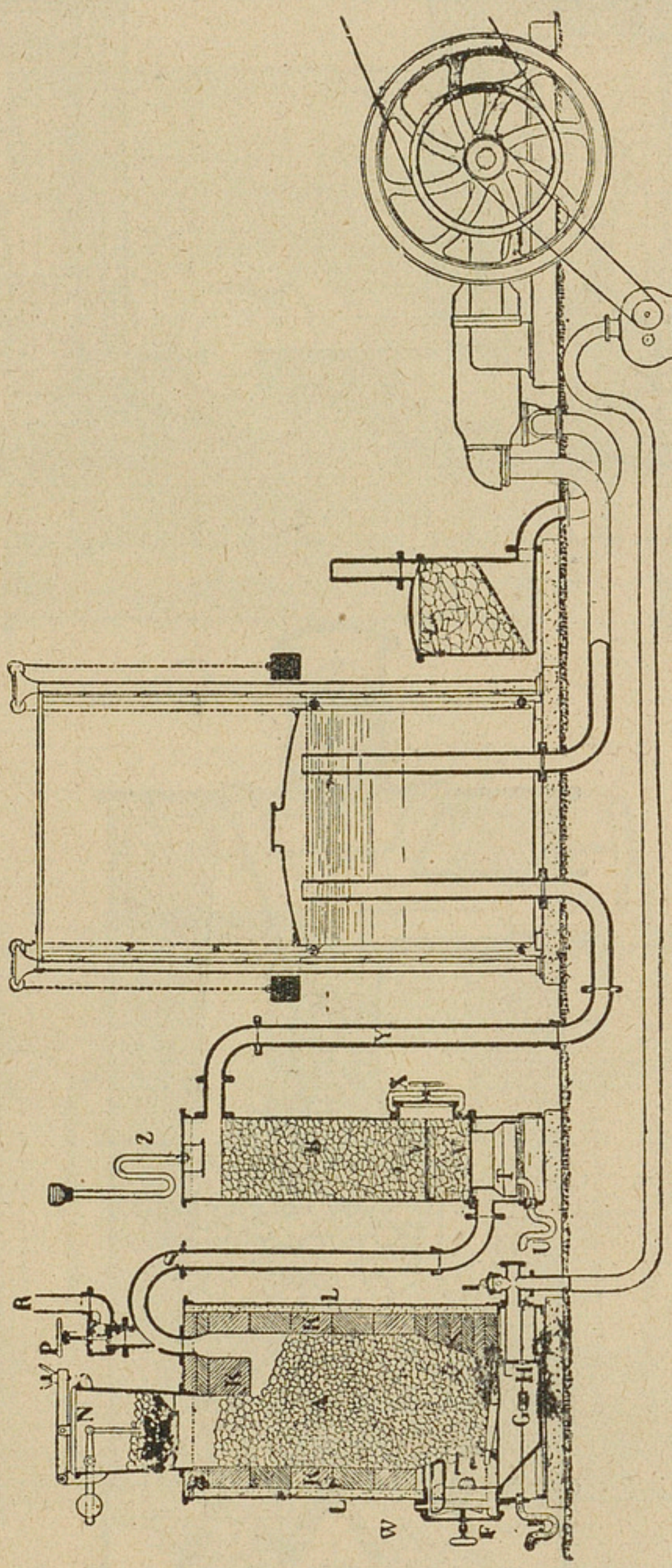


Fig. 39. — Gazogène Buire-Lencauchez.

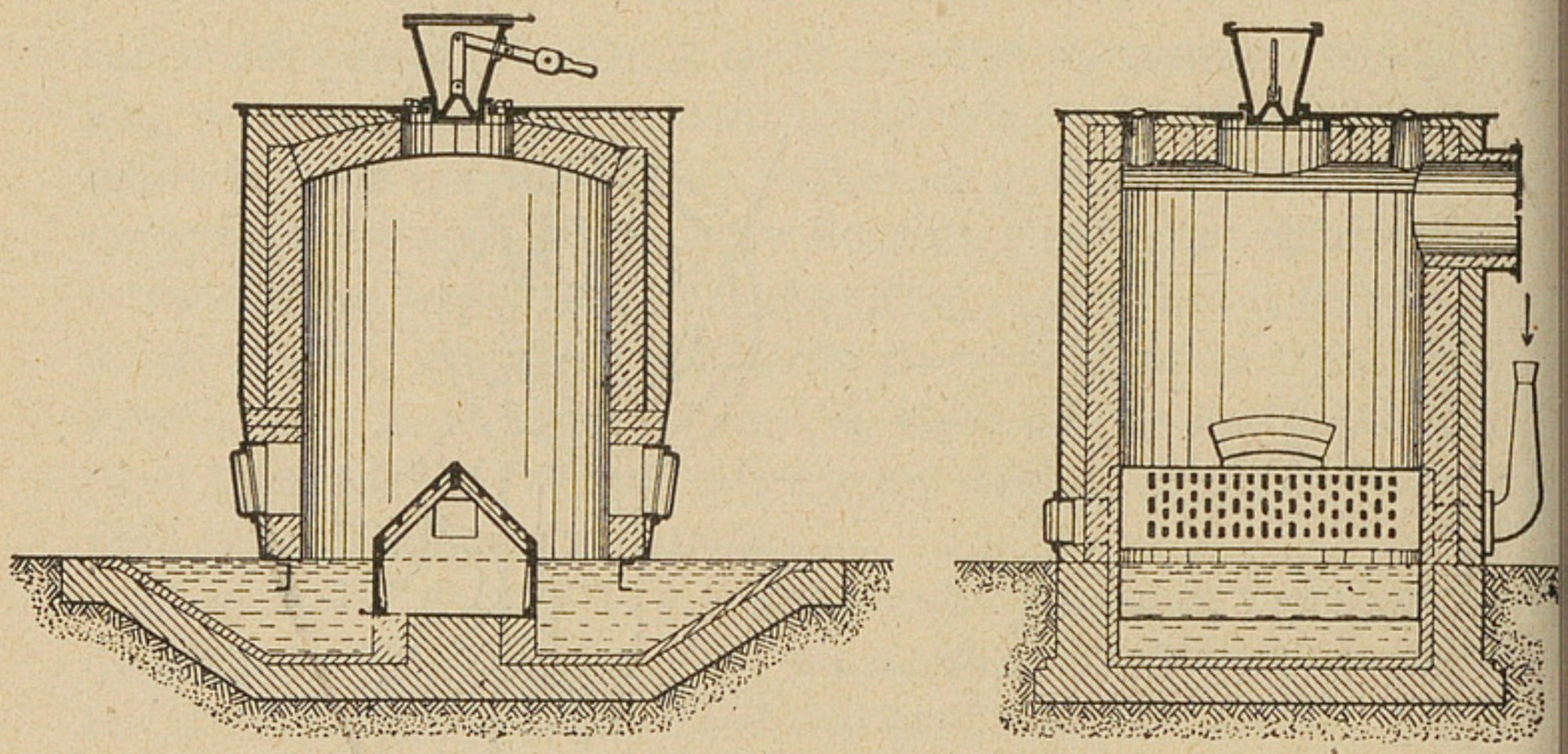


Fig. 40. — Gazogène Lencauchez à soufflage central.

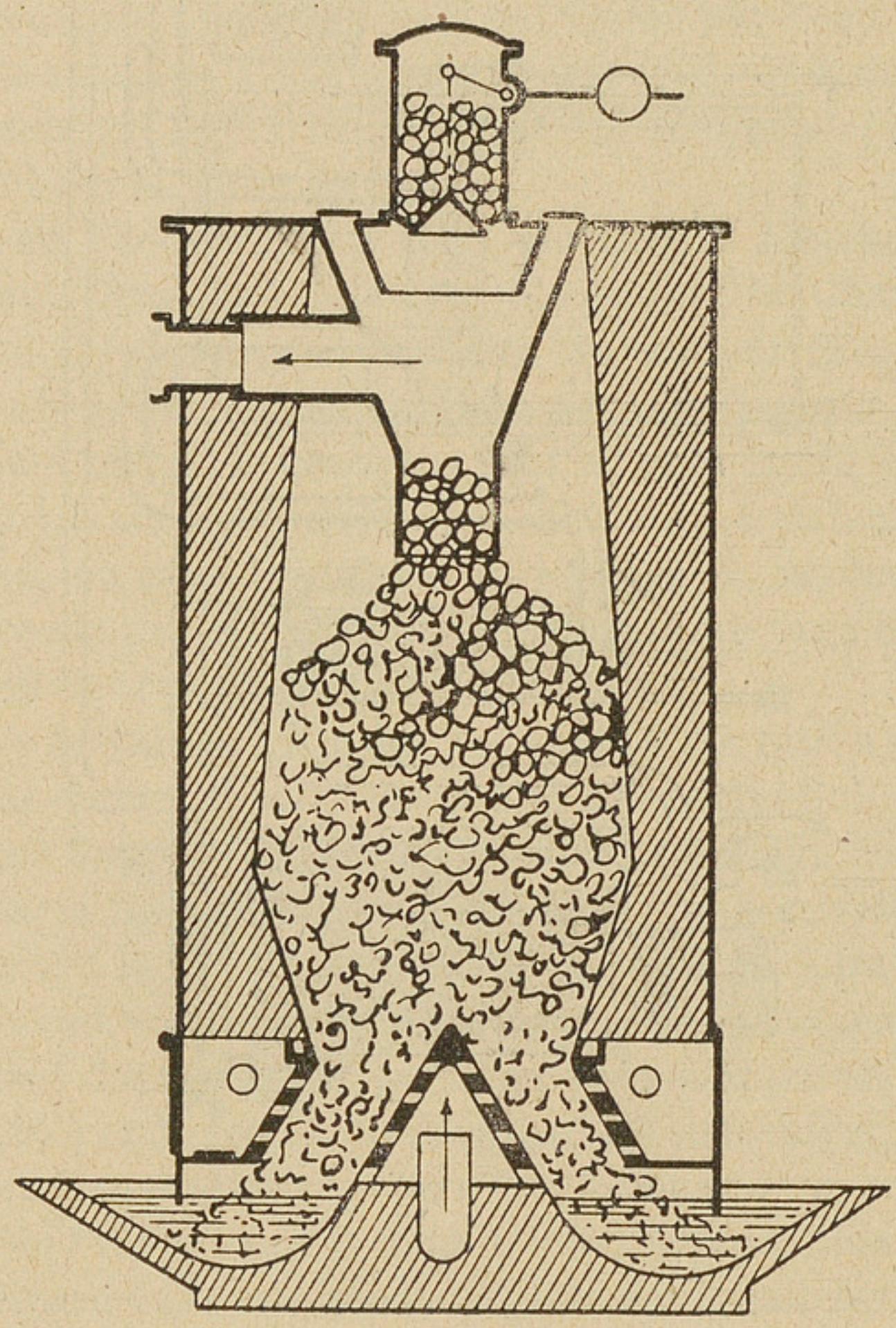


Fig. 41. — Gazogène Lencauchez modèle 1900.

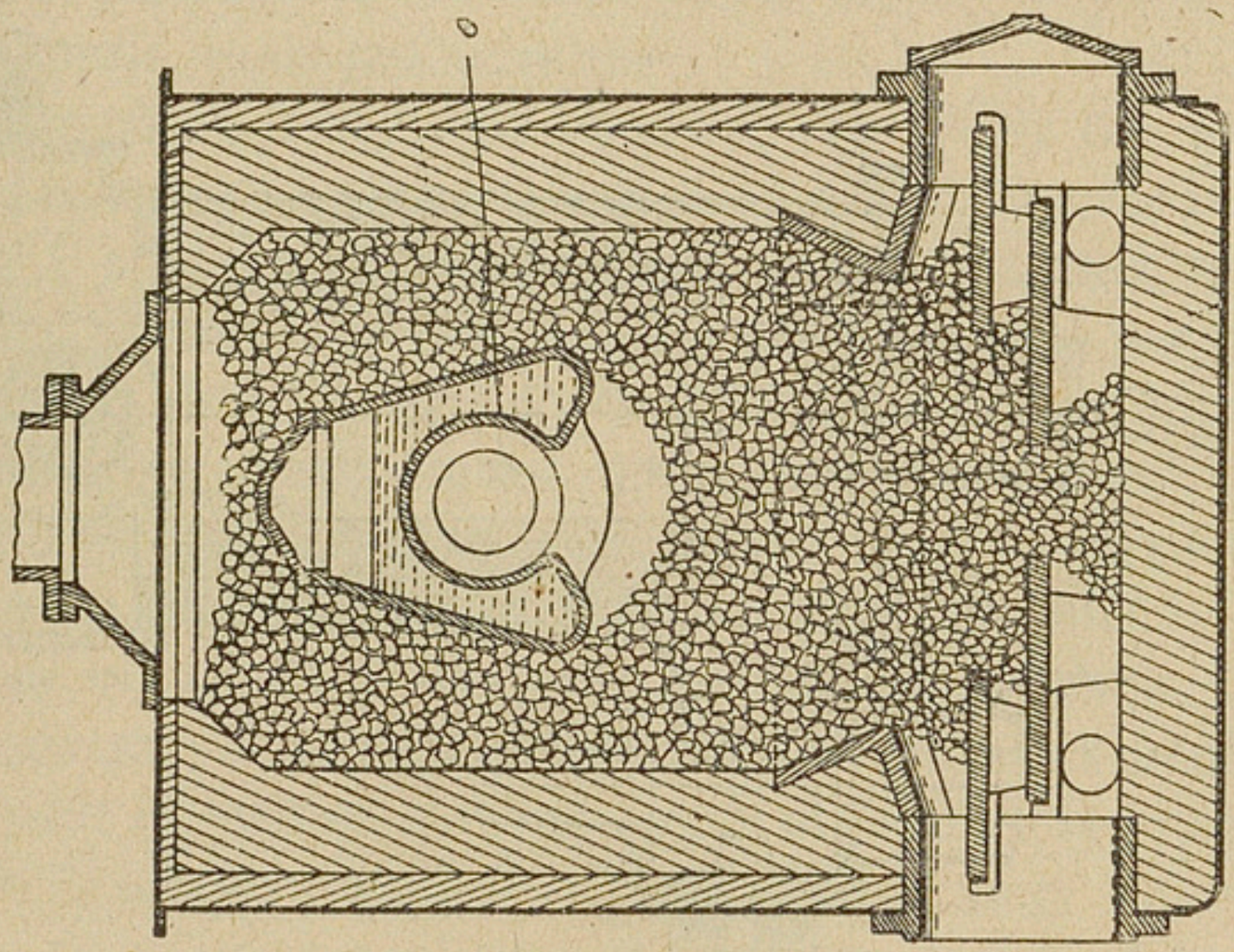


Fig. 42. — Gazogène Lencauchez à chaudière centrale.

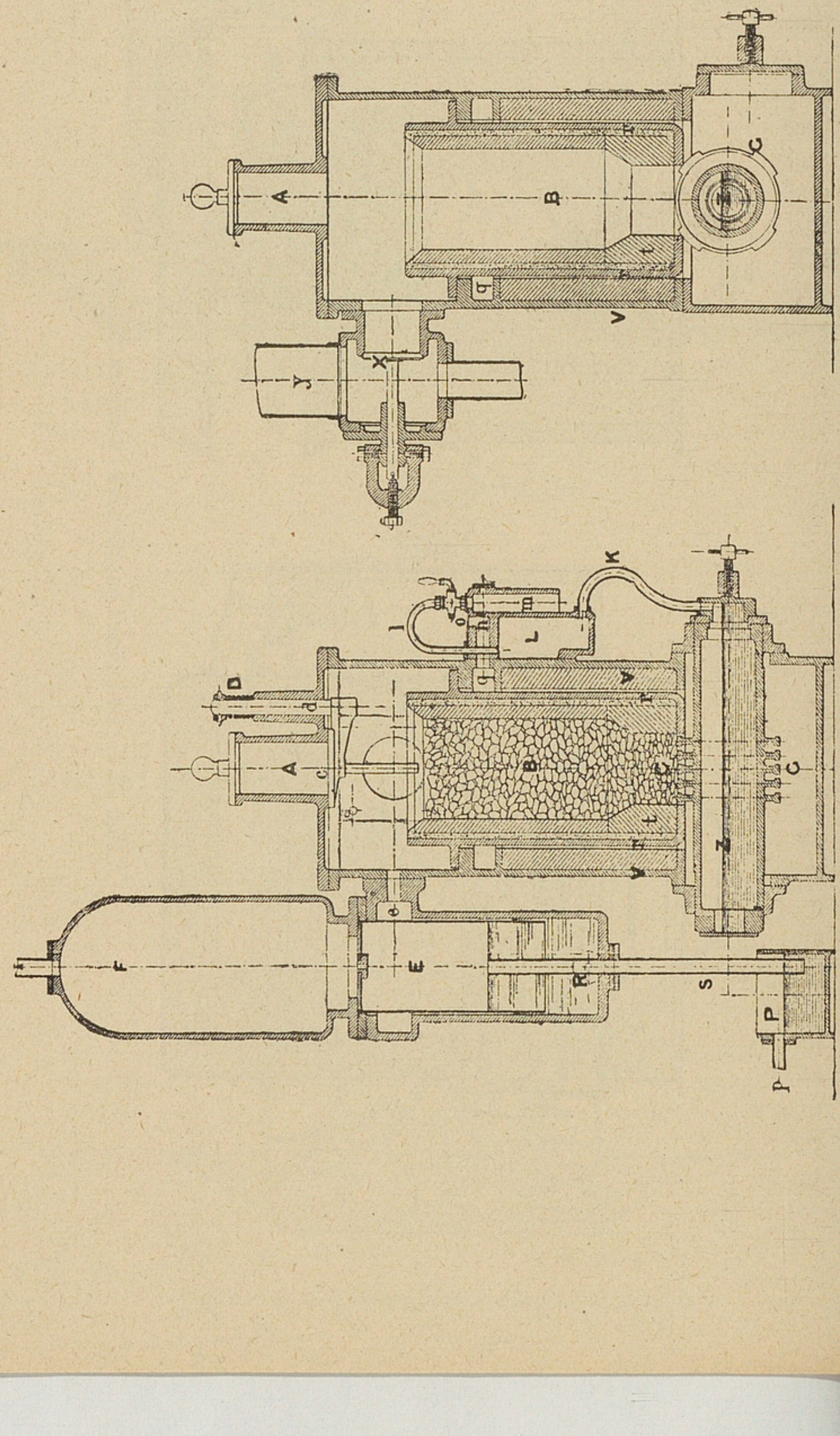


Fig. 43. — Gazogène Bénier.

On aurait peine à dire aujourd'hui à quelle préoccupation obéissait l'inventeur en adoptant ce modèle : il me l'a sans doute confié, mais je l'ai oublié.

La vaporisation et la modification pyrogénée des hydrocarbures était devenue le principal souci des constructeurs, qui ne faisaient plus de gazogènes qu'en vue de l'alimentation des moteurs. C'était la grande époque des moteurs à gaz pauvre : on couvrait alors les murs d'une affiche, qui déclarait que la consommation en charbon était réduite au dixième relativement à celle de la machine à vapeur ; je me hâte de dire que cette affiche ne portait pas la signature de Lencauchez et qu'il s'élevait vivement contre cette ridicule exagération. La chaudière centrale de la figure 42 fournissait abondamment la cuve de vapeur et, par sa position même et celle de la prise de gaz, elle obligeait les produits volatils de traverser l'atmosphère oxydante qui les transforme en gaz permanents. A remarquer aussi la disposition particulière de la grille.

Fig. 43. — Gazogène Bénier.

4. **Gazogène Bénier.** — Les frères Bénier étaient deux ingénieurs habiles et avisés, qui s'étaient fait un nom par leur moteur à air chaud, trop oublié aujourd'hui, qui fut pourtant une création originale. Lorsque le moteur à gaz fut venu supplanter ces machines thermiques de la première heure, les Bénier se tournèrent vers le soleil levant, et ils établirent un moteur à deux temps, d'une réelle valeur, constitué par deux cylindres, l'un de compression, l'autre moteur, dont les axes étaient parallèles et les manivelles calées à 90° ; ils y adjoignirent un gazogène, dans lequel la pompe aspirait le gaz, et qui fabriquait le gaz à mesure qu'il était utilisé. Le gazogène à aspiration est donc l'œuvre des frères Bénier. Par malheur, on leur découvrit une antériorité en Arbos, qui avait eu l'idée avant eux, mais n'en sut rien faire ; ils eurent un second malheur, qui fut de rester obstinément fidèles aux deux temps, et de ne pas vouloir appliquer l'aspiration aux moteurs à quatre temps. Ce fut de leur part un grand tort, car d'autres recueillirent à leur place les fruits d'une innovation qui aurait pu les enrichir.

Le gazogène Bénier de la figure 43 était à chaudière-grille Z ;

l'eau qui s'y vaporisait la protégeait contre une élévation de température excessive et contre toutes ses conséquences, on la faisait tourner d'un quart de tour toutes les demi-heures, pour changer les points d'échauffement et décoller les machefers qui auraient pu y adhérer.

Le danger d'échauffement de la grille était d'autant plus grand que la cuve B était à double enveloppe et que l'air et la vapeur d'admission s'y surchauffaient à un haut degré.

Pour obtenir un gaz ayant la même richesse, il fallait que la proportion d'air et de vapeur introduite dans le foyer fut maintenue constante ; on ne s'en préoccupait guère avant les Bénier et c'est encore un de leurs mérites d'avoir cherché à obtenir ce résultat. La disposition imaginée à cet effet est très ingénieuse. L'air et la vapeur sont introduits par aspiration dans la boîte *q* où ils se mélangent. L'air entre par les orifices *o*, et la vapeur par les trous *n* ; le volume d'air et celui de la vapeur sont proportionnels à la section des orifices *o* et *n*, à condition toutefois qu'ils gardent une tension constante. Il faut que la vapeur soit donc prise comme l'air, à la pression atmosphérique. Pour cela, la vapeur venant de la grille-chaudière est amenée à la partie supérieure d'une chambre de détente ouverte complètement par le bas.

Le lavage et l'épuration du gaz étaient effectués avec grand soin par des dispositifs particuliers, qui ne présentent plus grand intérêt aujourd'hui, et qu'on a fréquemment modifiés.

5. **Gazogène Taylor.** — Les Bénier crurent que l'irréguralité de la demande d'un moteur à quatre temps, faisant des passages à vide, nuirait au fonctionnement d'un gazogène et que l'aspiration n'était possible qu'avec leur moteur ; ils auraient dû essayer avant de se prononcer. MM. Taylor essayèrent et réussirent. Ils commencèrent par interposer entre gazogène et moteur un réservoir faisant volant, mais l'expérience montra bientôt que cette précaution était inutile.

Le gazogène Taylor (figure 44) présente une longue trémie conique, descendant à mi-hauteur de la cuve, constituant une copieuse réserve de combustible et dispensant d'un chargement répété ; on n'introduit le charbon qu'à de longs intervalles.

La grille a été supprimée et les cendres reposent par un talus sur une sole plate, facilement accessible au crochet du conducteur.

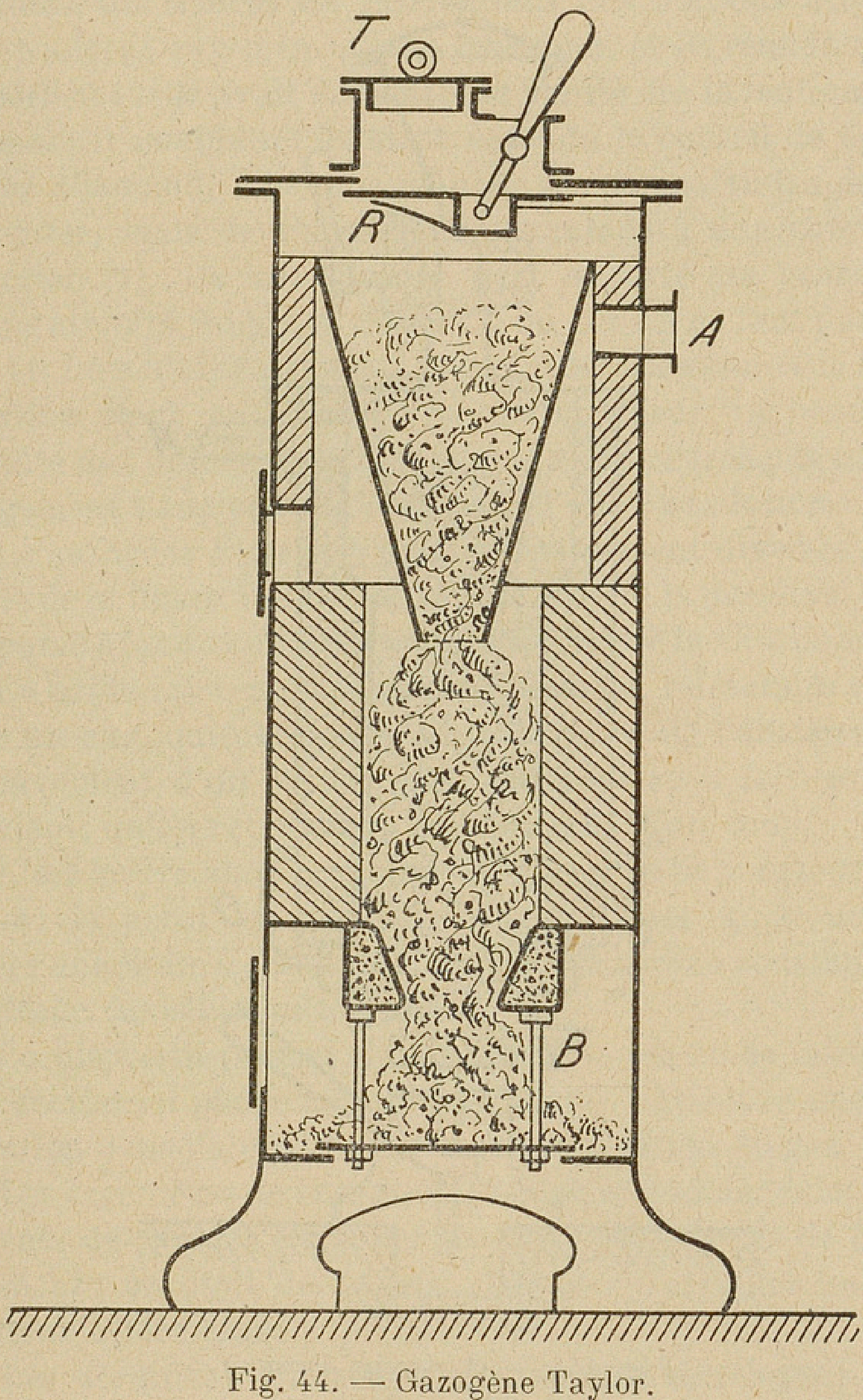


Fig. 44. — Gazogène Taylor.

La fermeture de la trémie par un tiroir est à noter. La vapeur est produite dans un petit générateur tubulaire que notre dessin ne fait pas voir ; il est chauffé par les gaz chauds, échappés en

A. On peut admettre de la vapeur dans la partie étranglée du foyer B, ce qui présente le double avantage de surchauffer la

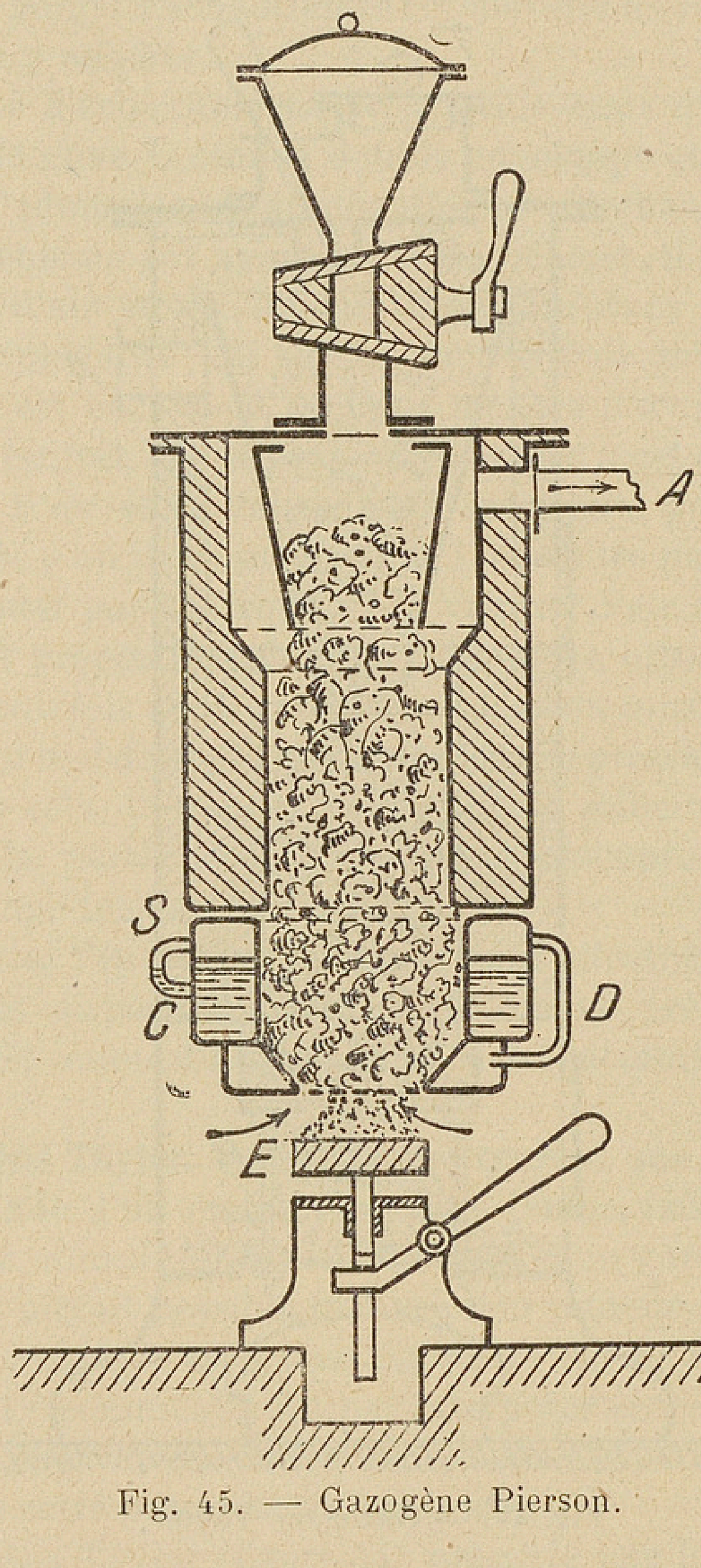


Fig. 45. — Gazogène Pierson.

vapeur et de protéger le métal contre un échauffement excessif. Le resserrement de la section en ce point y détermine une combustion très vive.

6. **Gazogène Pierson.** — MM. J. et O.-G. Pierson avaient représenté en France le gazogène Dowson, puis ils devinrent les agents de la puissante maison Crossley : après avoir vendu pendant des années les productions des maisons étrangères, ils se mirent eux-mêmes à en fabriquer, et ils réussirent. Leur expérience leur avait démontré la vanité des inventions hasardeuses ; il semble qu'ils aient entendu le conseil de cet ingénieur allemand, recommandant à ses compatriotes de moins inventer, mais de s'appliquer davantage à une bonne construction (1). Ils ont d'autre part apporté un grand soin à l'épuration physique et chimique du gaz : il ne faut pas regretter les frais d'établissement de ces utiles accessoires de la gazéification, dont on a bientôt amorti la valeur. Le bénéfice qui résulte de l'emploi de nos charbons maigres français compense largement l'augmentation de prix d'une installation.

Le gazogène Pierson a pris successivement diverses formes ; celle de la figure 45 n'est ni la première, ni la dernière. C'est un appareil à feu ouvert, présentant une grande facilité de conduite.

La grille est remplacée par un plateau réfractaire reposant sur un axe, qui permet de le soulever et de l'abaisser par le mouvement d'un levier ; plus tard, on en a fait un chariot roulant, qu'on retire pour vider la cuve d'un coup.

L'air arrive abondamment au foyer par le pourtour du plateau ; la paroi du gazogène est constituée là par une chaudière annulaire C, dont on maintient le niveau constant par un flotteur, invisible sur le dessin.

Ce dispositif permet de ringarder le feu et de faire tomber les scories en pleine marche, sans avoir à craindre une modification dans l'allure du feu et la composition du gaz.

Les ingénieurs de la maison Pierson recommandaient à leurs clients de charger les appareils pour une journée de fonctionnement ; on était de la sorte dispensé d'installer une trémie à double fermeture.

Les scrubbers Pierson, toujours très développés, étaient formés dès le début d'éléments superposés, aisément démontables, qui n'ont guère changé de forme.

---

(1) Le mot est de Güldner : Weniger erfinden, mehr construiren.

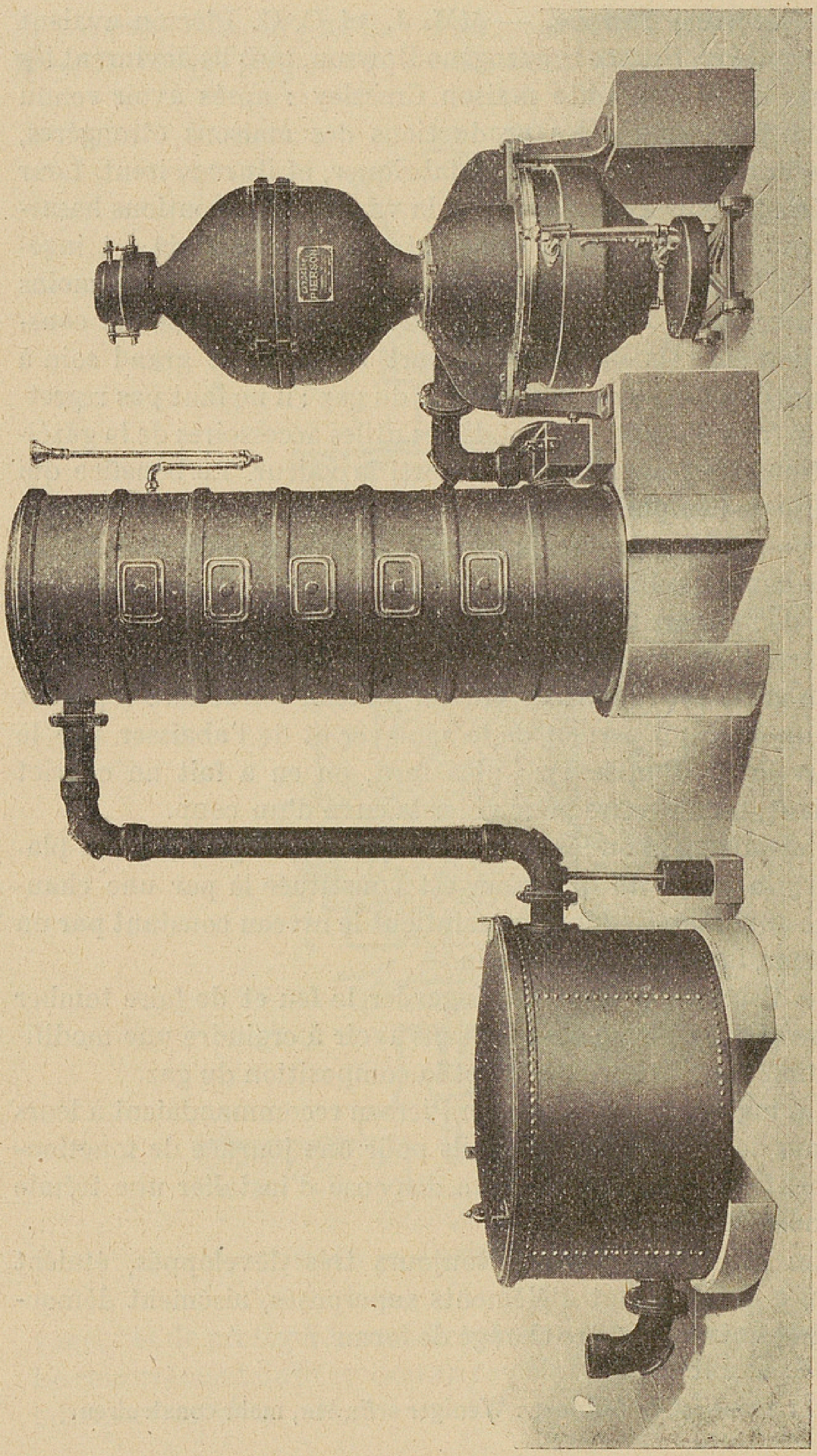


Fig. 46. — Vue extérieure d'un nouveau gazogène Pierson.

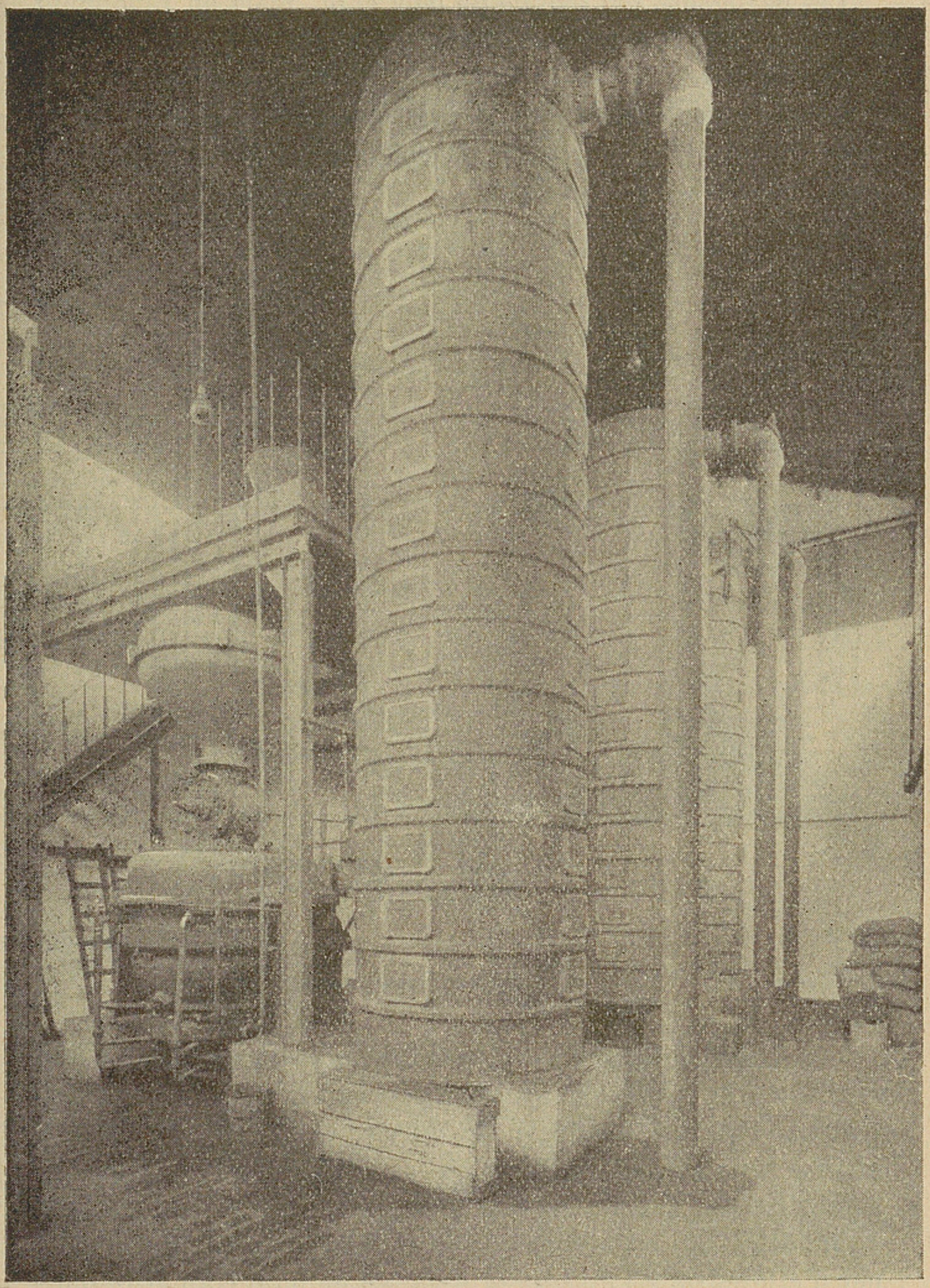


Fig. 47. — Gazogène et scrubber Pierson.

Les gazogènes ont évolué de leur côté, mais en répondant toujours à l'idée première des constructeurs.

Les figures 46 et 47 en donnent des vues extérieures intéressantes. Dans leurs somptueux catalogues, MM. Pierson, toujours discrets, ne donnent pas de coupes de leurs appareils : nous imiterons leur discrétion.

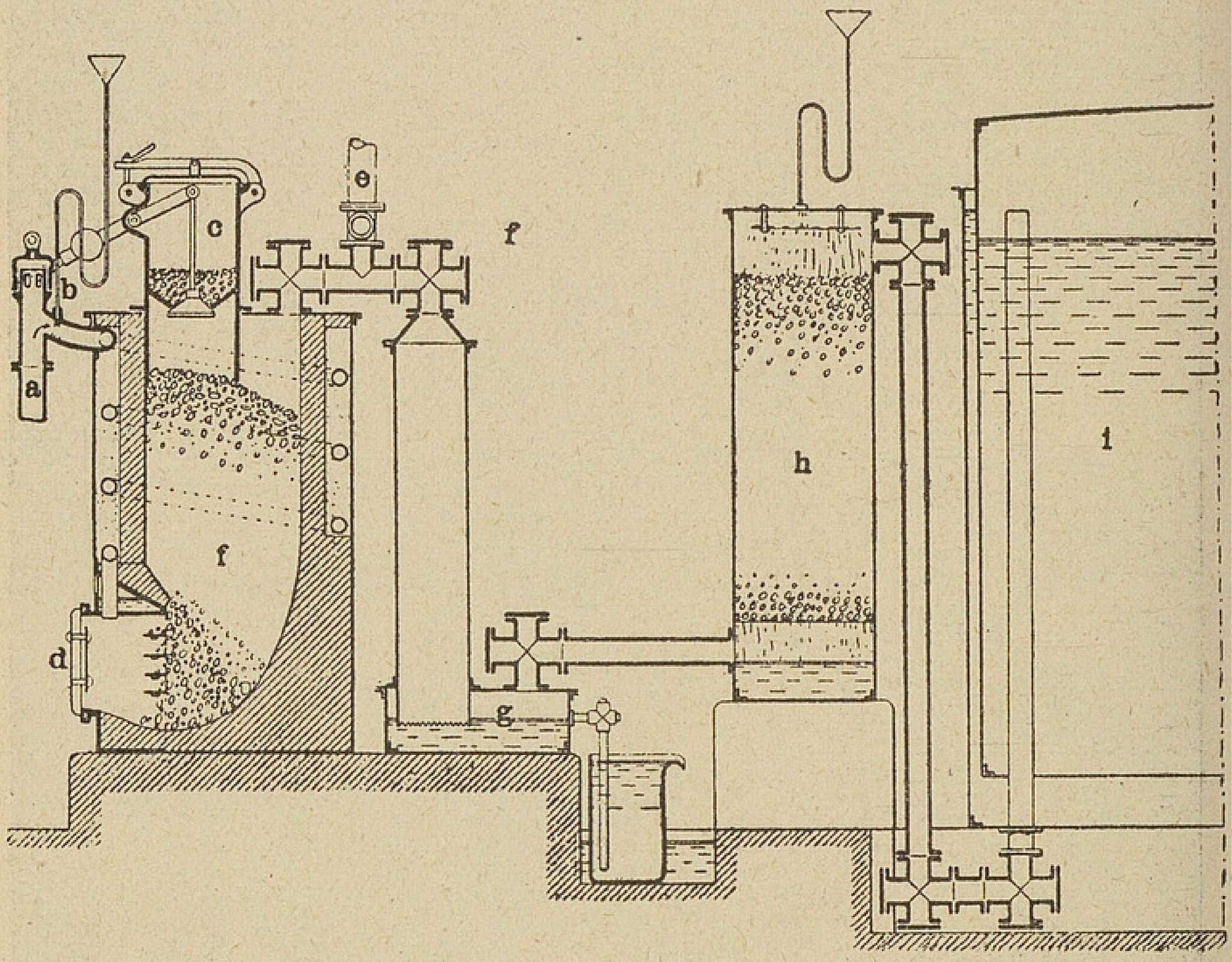


Fig. 48. — Gazogène Letombe.

7. **Gazogènes Letombe.** — Letombe a beaucoup fait pour la gazéification ; jamais pleinement satisfait de ce qu'il venait de réaliser, toujours en quête de mieux, cherchant d'ailleurs à utiliser tous les charbons, ce qui est bien un des plus grands avantages des gazogènes, il a dessiné un nombre considérable de modèles, dont quelques-uns ne sont guère sortis de son cabinet d'études qu'à l'état de projets. Je ne ferai connaître dans ce chapitre que deux appareils Letombe, mais on en trouvera d'autres dans les catégories suivantes.

La figure 48 représente un modèle de 1894, que Letombe

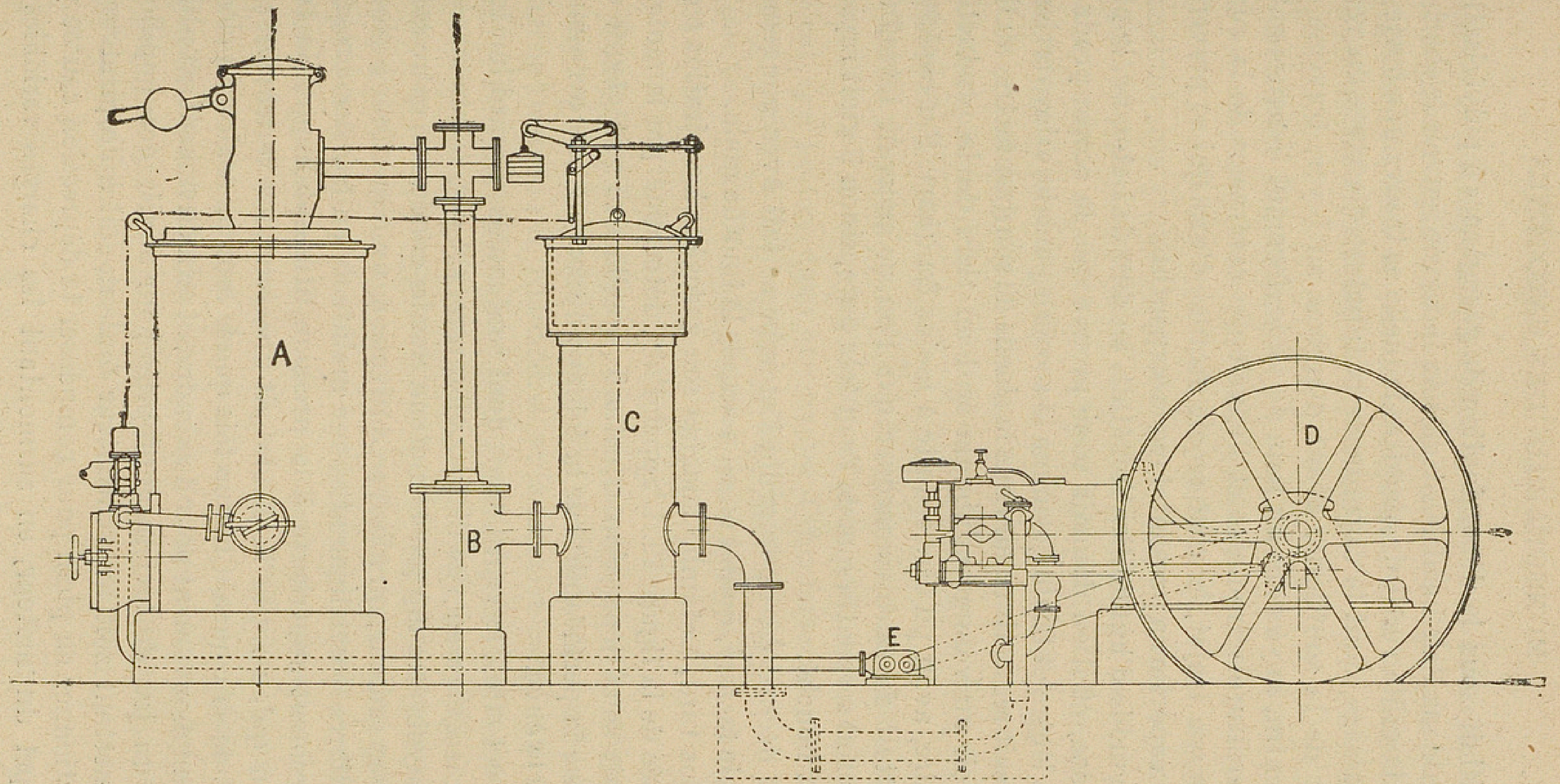


Fig. 49. — Gazogène Letombe à aspiration compensée.

spécifiait sous la dénomination de gazogène « à pulvérisation d'eau dans l'air insufflé.» Une sole incurvée renvoie le charbon vers la grille verticale, derrière laquelle se trouve une porte de décrassage, dont le cadre porte la tubulure d'arrivée du vent. L'air de la soufflerie, avant d'arriver au foyer, traverse un serpentin, noyé dans un bain de sable, formant fourrure entre la garniture réfractaire et l'enveloppe extérieure de la cuve. Dans son trajet, le vent reçoit un filet d'eau qui se pulvérise et se vaporise en passant dans le serpentin.

Ce mode d'humidification était, au dire de Letombe, le plus efficace, et il en donnait pour preuve que la scorie produite était légère et friable, comme la scorie « pourrie » des verriers ; il faisait ressortir encore que la cloche de son gazomètre, au lieu d'avoir un volume minimum égal au tiers de la production horaire, avait pu être réduite à moins du quart. Par contre, il omettait de faire remarquer que l'on ne pouvait introduire dans son serpentin que de l'eau très pure, sinon il était rapidement bouché.

Le décrassage de la grille Letombe se fait avec une remarquable facilité, quand on en a acquis le tour de main.

Plus tard, Letombe imagina son gazogène à aspiration compensée de la figure 49. L'appel d'air, déterminé par le moteur, se fait sous dépression constante, quelle que soit et que devienne la perméabilité de la colonne de combustible accumulée dans la cuve.

A cet effet, le ventilateur, dont sont munis aujourd'hui tous les gazogènes en vue de leur allumage, est disposé de manière à pouvoir être mû par le moteur. Sur les conduites, entre gazogène et moteur, on place en dérivation un régulateur à cloche équilibrée partiellement, pour maintenir au gaz une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique, de telle façon qu'au repos la cloche ait une tendance à demeurer au haut de sa course. Chaque fois que le moteur aspire, la cloche fait un mouvement pour descendre, et ce mouvement est utilisé par un jeu de leviers appropriés pour ouvrir des papillons, permettant soit au ventilateur foulant, soit à l'aspirateur de fonctionner en plein pour compenser la dépression causée par l'appel du moteur, en surmontant les charges variables du

gazogène et des appareils laveurs et épurateurs mis à sa suite.

Le régime d'aspiration du moteur ne varie donc pas et rien n'empêche, du chef du producteur de gaz, qu'il ne développe continument le maximum de sa puissance.

8. **Gazogène Winterthur.** — La forme de la cuve de ce gazogène présente une forme particulière, sinon nouvelle ; sa partie inférieure, de faible hauteur, est surmontée d'un magasin présentant une grande capacité ; celui-ci est entouré par les appareils de vaporisation d'eau et de chauffage de l'air. La cuve se termine du reste en bas par une partie fortement conique. Il n'y a pas de grille, mais un talus d'éboulement.

L'air chaud et humide descend au cendrier par un conduit annulaire entourant le tuyau de départ des gaz, dans lequel il achève de se surchauffer.

Il existe un autre modèle Winterthur, dont le cendrier, en forme de tronc de cône renversé, est prolongé par un cylindre vertical, qui plonge dans une nappe d'eau formant joint hydraulique, dans lequel se rassemblent les scories.

Tous ces appareils sont pourvus du doseur d'eau, que j'ai décrit ci-dessus (1).

9. **Gazogènes Crossley.** — La maison Crossley Brothers de Manchester a eu longtemps partie liée avec le moteur Otto et le gazogène Dowson ; G. Richard, dont la massive compilation ne faisait à aucun constructeur l'injure de ne pas citer son nom, ne mentionnait encore aucun gazogène Crossley, en 1895.

Mais, depuis lors, les grands mécaniciens anglais ont regagné le temps perdu, et ils ont constitué plusieurs modèles qui ne sont pas sans mérite: nous allons les passer rapidement en revue.

Dans la quatrième édition de mon *Traité des Moteurs à gaz*, dont le premier volume porte la date de 1903, j'ai décrit un gazofacteur établi avec la collaboration de M. Atkinson ; on paraissait rallié à l'idée américaine des mécanismes briseurs de mâchefers, qui devaient permettre l'emploi de tous charbons gras et bitumineux fournissant des cokes agglutinés ; je ne sais

(1) Voir page 117.

quelle suite MM. Crossley ont donnée à ces projets, dont les prospectus ne parlent plus.

M. Marchis a mentionné, dans ses leçons de 1905, un appareil Crossley et Righby, dont il dit ce qui suit. « On s'est préoccupé de descendre suffisamment la grille au-dessous du revêtement réfractaire, afin d'éviter l'adhérence des machefers au

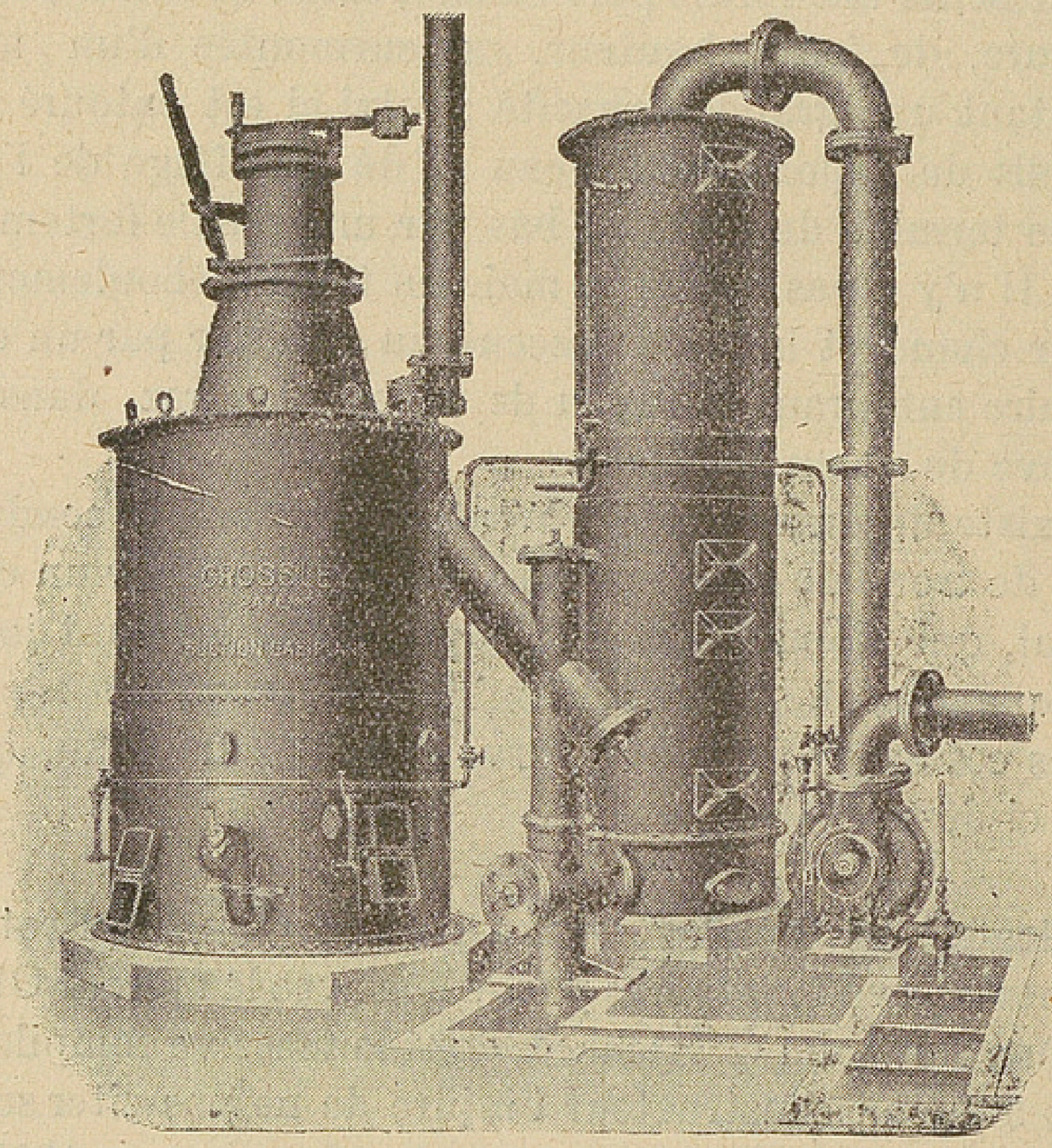


Fig. 50. — Gazogène Crossley.

point le plus chaud. La chaudière se trouve en haut du gazogène ; son fond est garni de nervures circulaires, afin de multiplier l'étendue de la chauffe. Au-dessus du plan d'eau, on a disposé une admission d'air réglable ; le mélange d'air et de vapeur se surchauffe dans la garniture métallique inférieure de la cuve, d'où il est distribué au combustible un peu au-dessus de la grille en se mélangeant d'un apport d'air surnuméraire réglable lui-même à volonté. Ces moyens de réglage sont bien entendus pour proportionner la fabrication aux besoins du moteur desservi. »

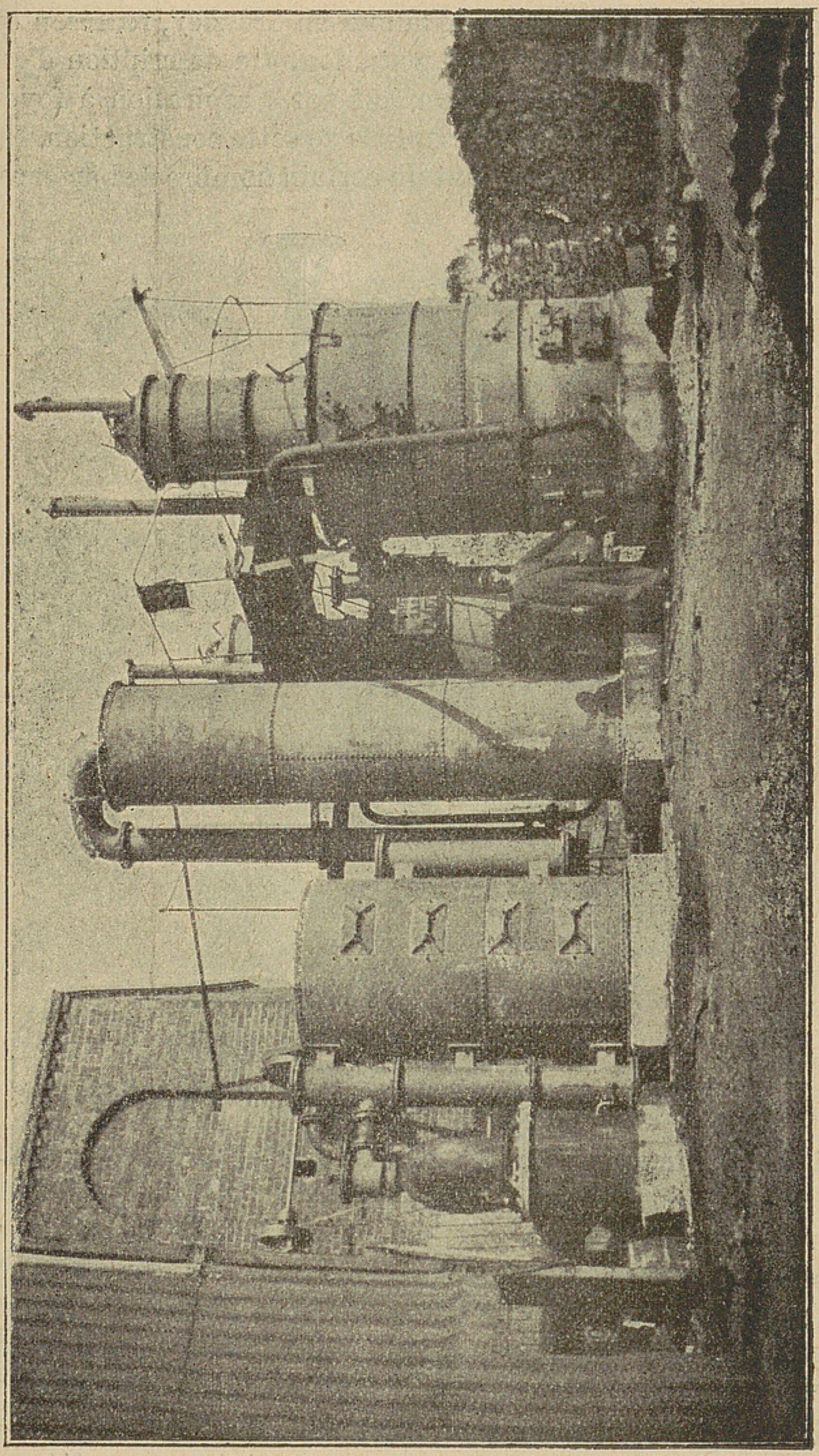


Fig. 51. — Gazogène Crossley.

Le plus récent prospectus de la maison Crossley, représentée en France par MM. Diény et Lucas, donne la description d'un gazogène perfectionné, fonctionnant par « aspiration à foyer ouvert ». Voici les éléments essentiels de cette construction. Le foyer est à gradins, comportant un certain nombre de barreaux

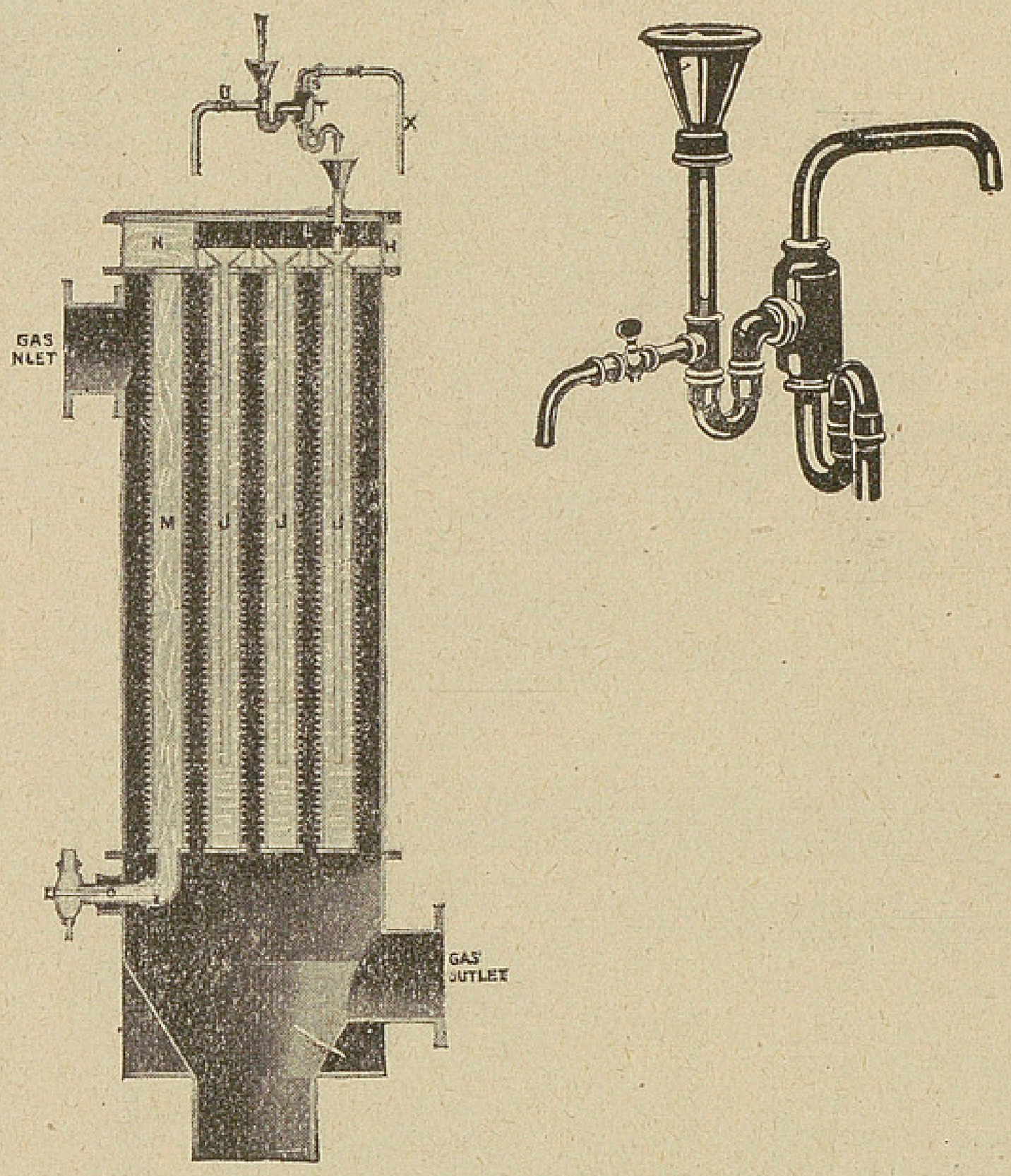


Fig. 52. — Chaudière Crossley.

plats circulaires, placés en échelons, refroidis par courant d'eau ; le feu est toujours visible et il est aisément accessible. Une longue trémie en fonte, surmontant la cuve, constitue une forte réserve et permet de marcher plusieurs heures sans charger. Le vaporisateur d'eau est extérieur ; il est à tubes Field à ailettes en fonte. On a pris soin d'assurer l'étanchéité de la fermeture de la trémie ; on lui adjoint une alimentation automatique, réglée d'après la demande. Le laveur de gaz est à double cascade. Une chambre d'expansion est placée sur la conduite pour atténuer

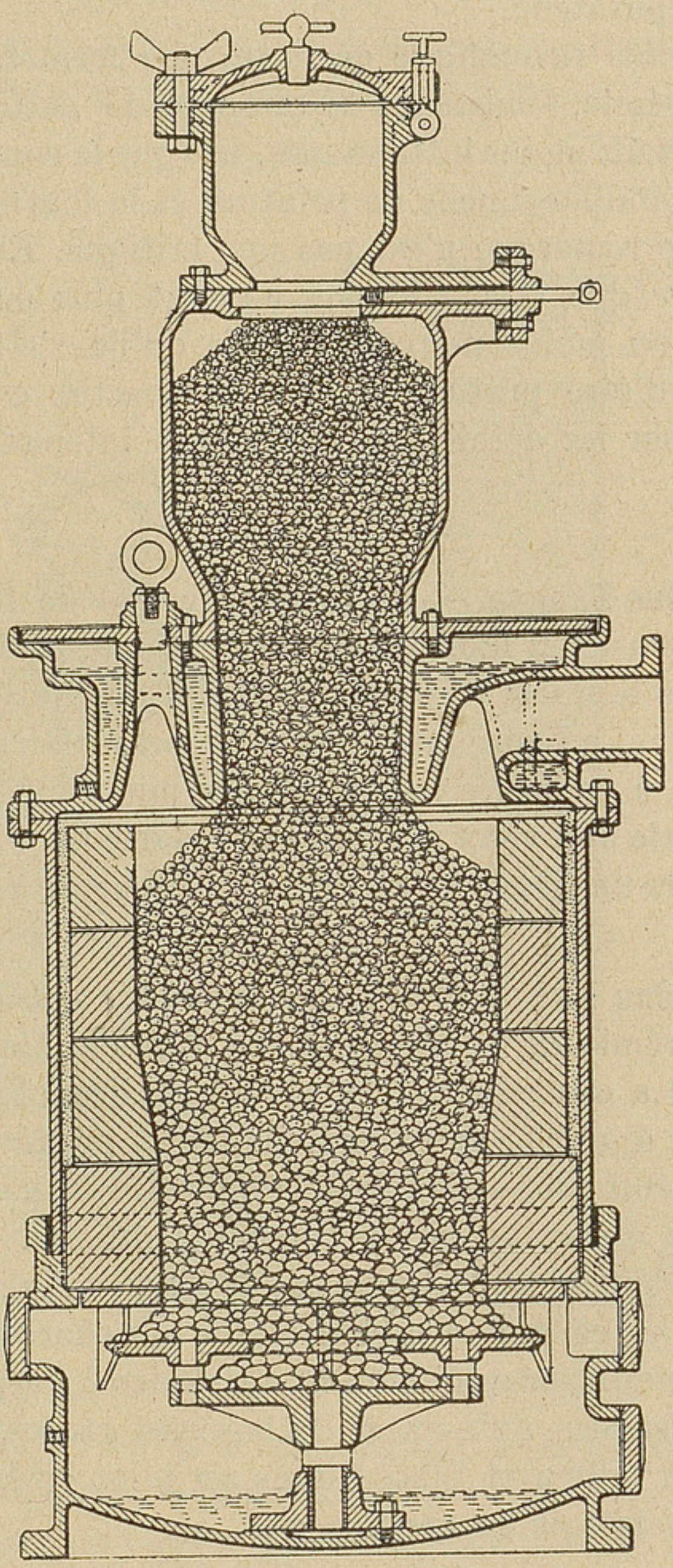


Fig. 53. — Gazogène Tangye.

les fluctuations du débit : on peut la remplir de fibre de bois et en faire un épurateur.

Le prospectus revendique en outre une fermeture hermétique de la trémie, l'existence de tampons de nettoyage et de nombreux détails moins intéressants, tels que la couverture des fers par une double couche de peinture et la fourniture d'une échelle. Cette remarque n'est pas une critique. Elle est faite pour montrer que MM. Crossley ne sont plus en quête de choses plus ou moins nouvelles, mais qu'ils s'efforcent par dessus tout d'être pratiques. Leur prospectus est du reste fort discret sur les détails qui pourraient intéresser les concurrents.

10. **Gazogène Tangye.** — La maison Tangye de Birmingham a construit plusieurs modèles de producteurs, également bien conçus, entre lesquels je suis embarrassé de choisir celui que je dois décrire. La figure 53 me paraît représenter un type des plus récents, à en croire les catalogues mis à ma disposition. Le dessin parle aux yeux avec assez de clarté pour me dispenser d'y joindre une légende. La grille peut tourner à la main.

11. **Gazogène National.** — Le Générateur est en fonte et porte une trémie de chargement de combustible à la partie supérieure. La quantité de vapeur nécessaire à la marche du gazogène est assurée par un vaporisateur à production instantanée et à débit proportionné à la quantité de gaz à fournir, ce qui assure une composition constante du gaz. — L'air est réchauffé avant son admission au foyer. — La grille est du type à gradins, ce qui permet l'emploi des charbons de petit criblage et réduit au minimum la résistance à l'aspiration.

Pour les grandes puissances, la base du générateur est ouverte en son milieu et placée dans un joint hydraulique qui reçoit les cendres de décrassage.

12. **Gazogène Piat.** — La maison Piat a établi un modèle, très étudié dans ses moindres détails, qui constitue une sorte de synthèse de toutes les améliorations qu'a apportées à la gazéi-

fication une pratique prolongée : nous en donnons deux dessins, dans les figures 55 et 56.

Les dispositions adoptées par les constructeurs se modifient quelque peu avec la puissance des appareils, la qualité du

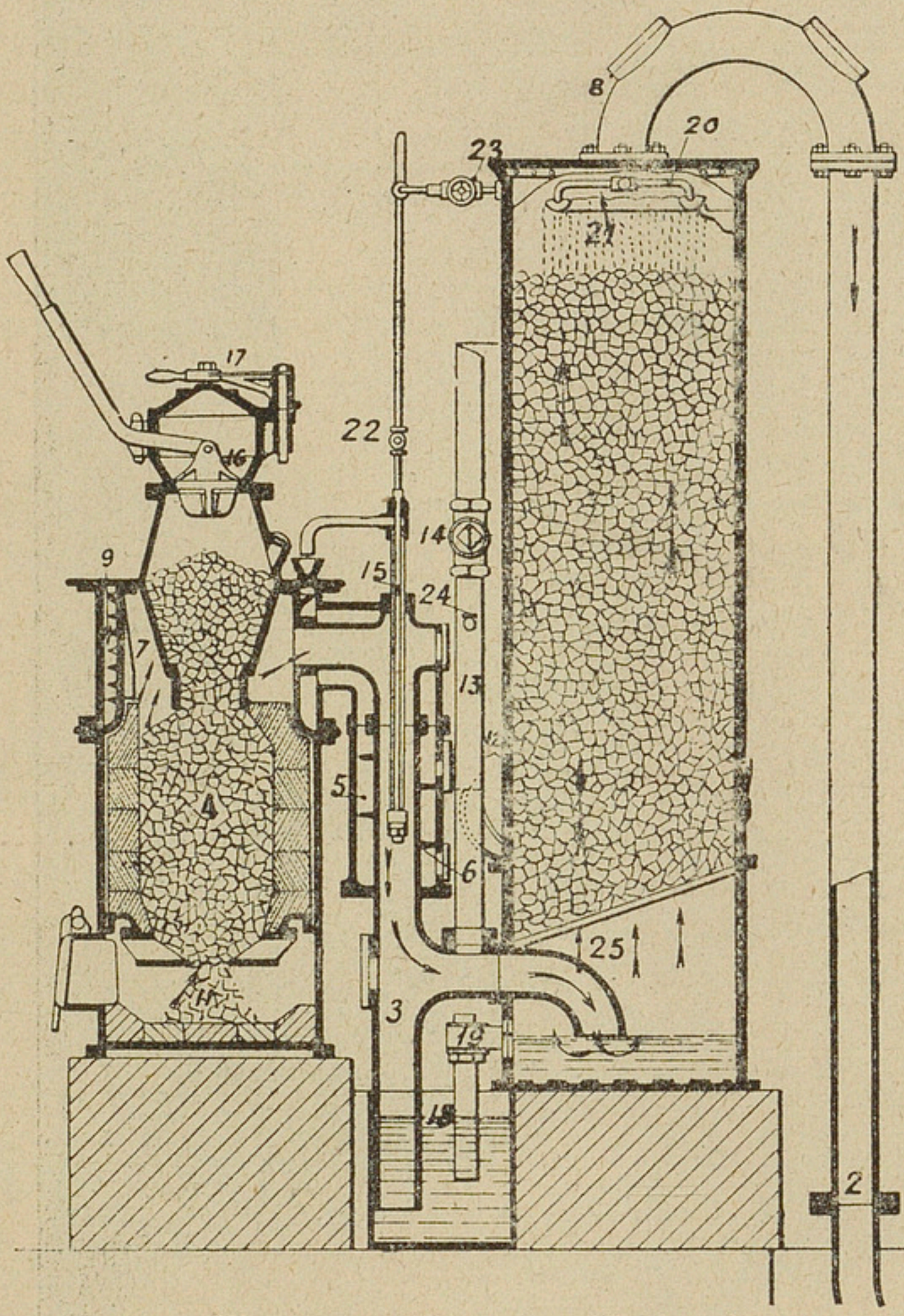


Fig. 54. — Gazogène National.

charbon à traiter et les conditions imposées par l'installation. Nous en dégagerons les grandes lignes.

L'air, chargé de vapeur par léchage en passant au-dessus de l'eau de la chaudière, arrive au centre du foyer, par une tuyère verticale, surmontée d'un champignon réflecteur, qui assure une répartition uniforme de vent.

Une grille à trois gradins donne la possibilité de dégager au

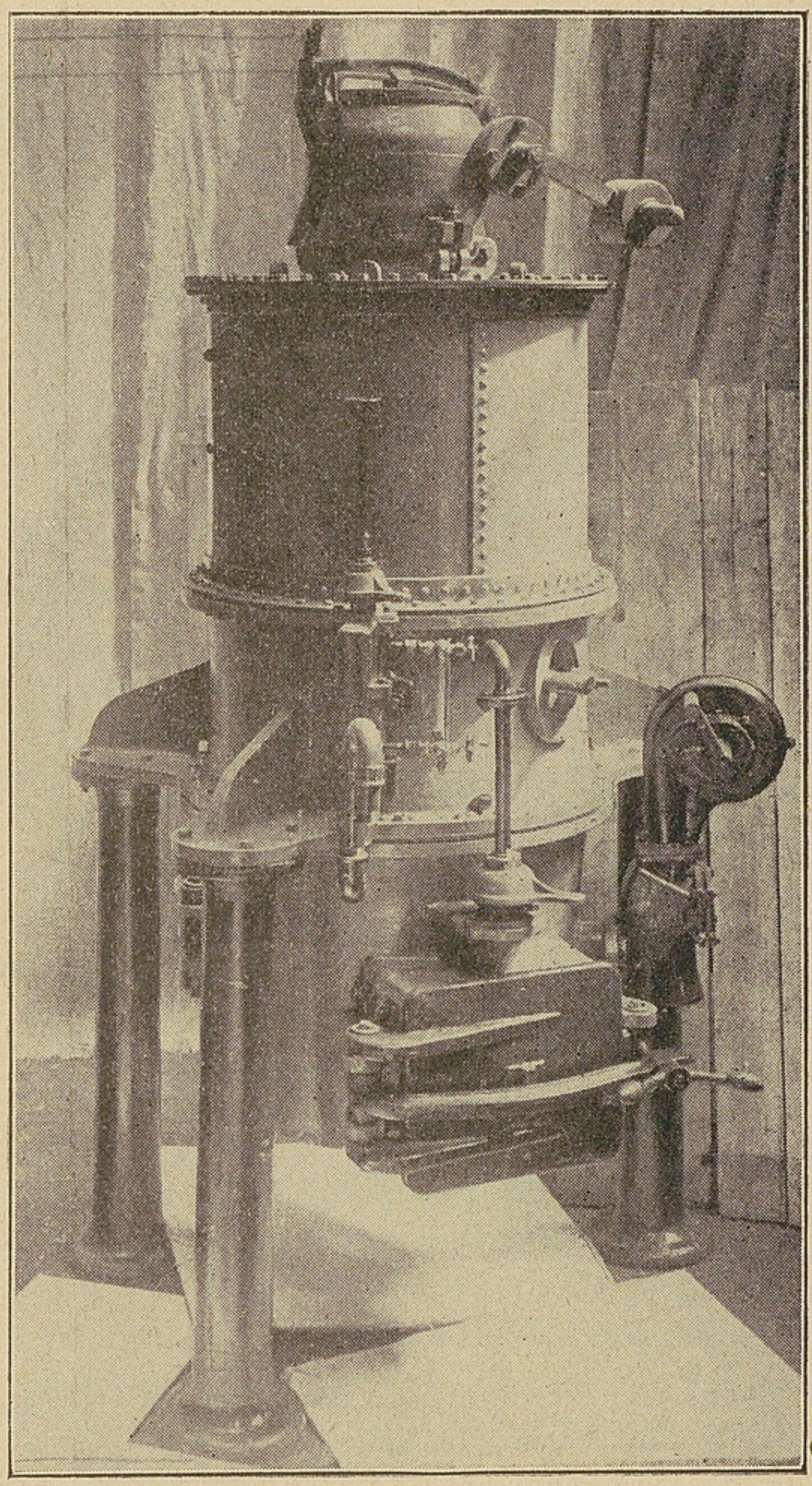


Fig. 55. — Gazogène Piat.

crochet les mâchefers qui encombreraient la sortie de l'air de la tuyère distributrice.

La zone de combustion vive est entourée par la chaudière, qui s'élève à mi-hauteur de cuve dans les gros gazogènes.

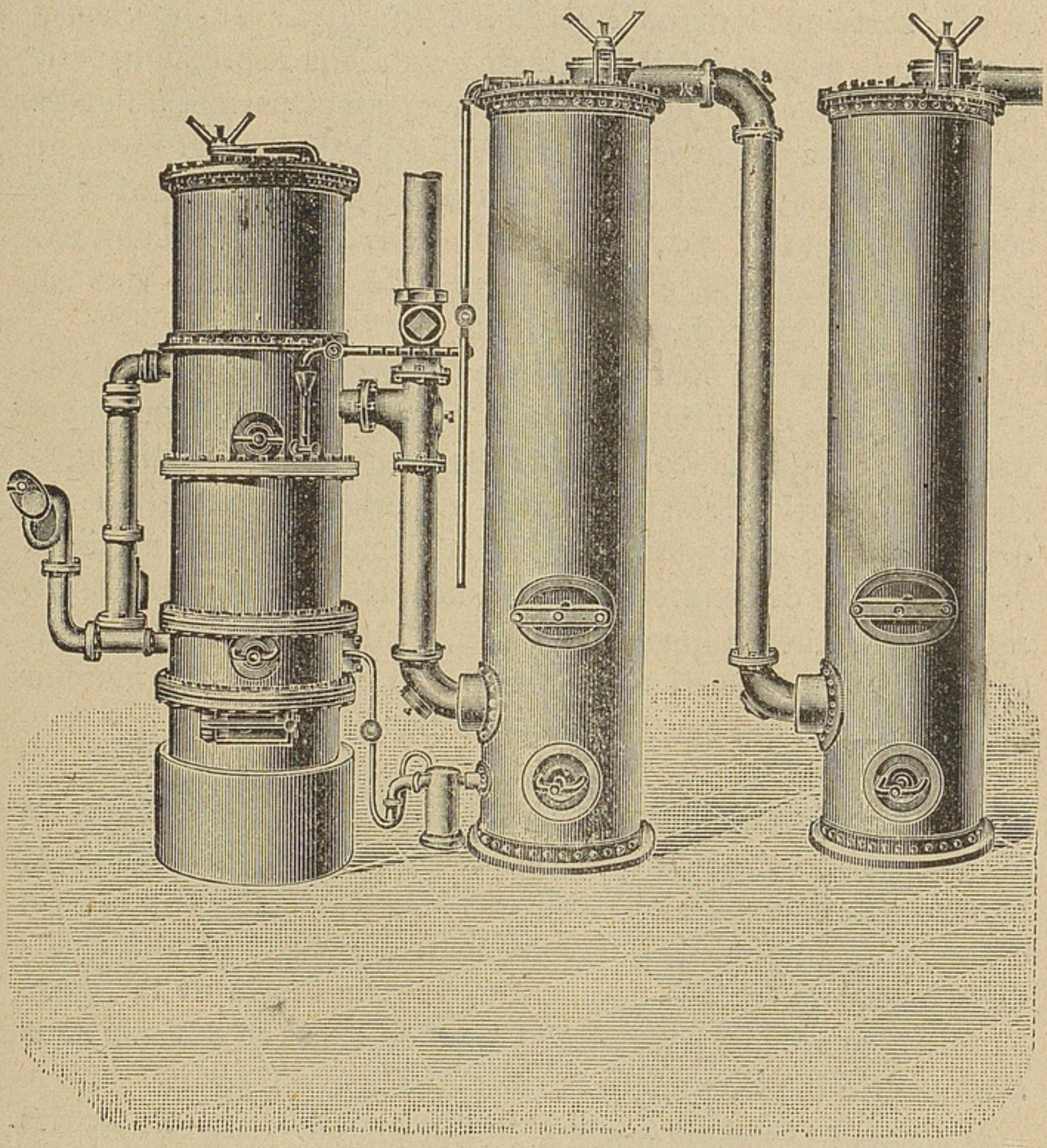


Fig. 56. — Installation d'un gazogène Piat.

Dans tous les appareils, la prise de gaz est centrale ; elle s'effectue à une certaine profondeur.

J'ai été appelé à faire des essais de réception sur un gazogène Piat, alimentant d'une part un moteur Benz et de l'autre divers appareils de chauffage ; l'installation comprenait à la

suite du producteur, un laveur à coke et un autre à fibre de bois avec un aspirateur Root, faisant office d'exhausteur. De plus, un régulateur de pression était branché après l'aspirateur et il agissait sur l'ouverture d'une soupape de réglage, faisant communiquer le refoulement de l'aspirateur avec le tuyau d'amont, de telle sorte que lorsque le débit de l'aspirateur est supérieur à la demande de gaz, il fait monter le régulateur de pression, petit gazomètre qui ouvre la soupape de réglage et permet à l'excès de gaz de repasser du refoulement à l'aspiration. A la sortie de l'aspirateur, le gaz est dirigé dans une conduite portant d'un côté une vanne de gaz, permettant d'envoyer celui-ci aux appareils de chauffage et de l'autre côté un départ vers un antipulsateur, précédant un moteur de 35 chevaux.

On avait garanti pour le gazogène un rendement de 75 p. 100 pour une consommation comprise entre 24 et 50 kilogrammes par heure ; le diamètre de la cuve mesurait à sa partie supérieure 75 centimètres. Dans mes expériences, on mit à ma disposition du charbon maigre d'Ostricourt, à 16 de matières volatiles et 10 de cendres. J'ai obtenu 4.914 litres de gaz à 1.223 calories par kilogramme de charbon, d'un pouvoir de 7.861 calories, d'où est ressorti un rendement de 76,5 p. 100, en marche industrielle, ce qui constitue un excellent résultat.

13. **Gazogène Béchevot (Ignis).** — Le gazogène Ignis de M. Béchevot, est prolongé à sa base par un tube en fonte I, pourvu extérieurement de saillies rentrantes, formant une série d'augets circulaires D, à déversement d'eau ; c'est une chaudière à grande surface de chauffe, dont le dessin de la figure 57 fait bien voir la disposition ; l'eau en excès se déverse dans une cuvette inférieure, qui l'évacue par un trop plein.

Il n'y a pas de grille à vrai dire ; l'amoncellement des scories sert de soutien au combustible.

La prise de gaz est centrale, avec trémie jetée sur le côté. La cheminée axiale est fermée en haut par une soupape hermétique dont la figure ne donne pas le détail ; elle assure une fermeture étanche dont l'utilité n'est pas contestable, car toute rentrée d'air dans le tuyau de départ des gaz produit une combustion prématurée de ceux-ci et expose à des explosions.

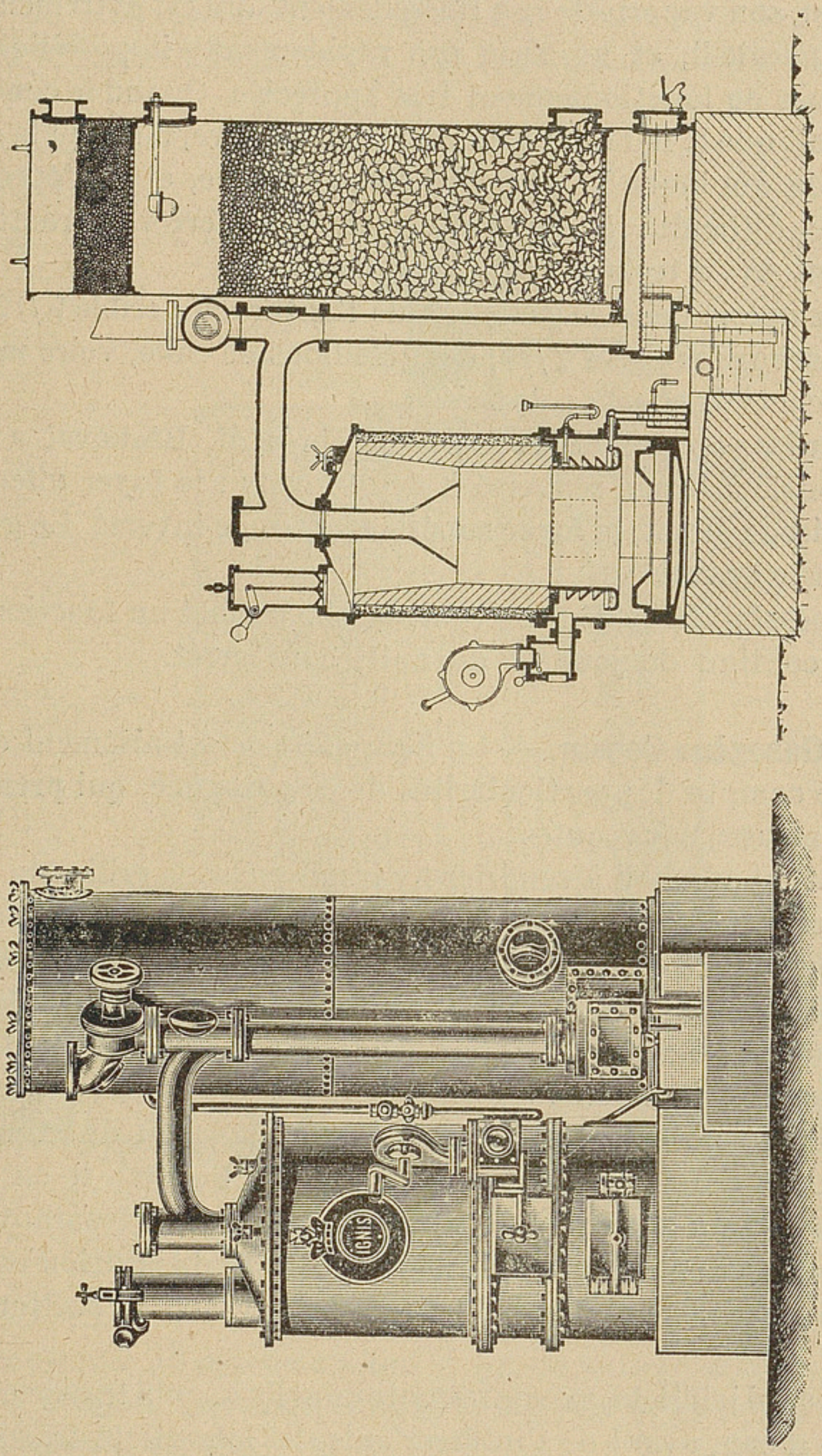


Fig. 57. — Gazogène Béchevot Ignis.

M. Béchevot revendique particulièrement, comme son invention, son vaporisateur à ruissellement, qui est extrêmement actif, paraît-il, et ne s'use pas rapidement ; il possède une souplesse de fonctionnement très appréciée. Quand le conducteur voit que le feu tend à monter dans la cuve, il a reçu la consigne de diminuer la quantité d'eau débitée, et il n'éprouve aucune difficulté à s'y conformer. Les terres réfractaires peuvent servir trois ans sans remplacement.

On emploie dans ce gazogène de l'anthracite criblé 5 /10, ou des charbons maigres 7 /13, des grésillons de coke, voire même des déchets de charbon de bois.

Pour les copeaux et les déchets de bois, M. Béchevot a créé un modèle à tirage renversé à deux foyers : le foyer inférieur est à tirage direct, le foyer supérieur à tirage inversé. Le gueulard reste ouvert.

La possibilité de décrasser en marche permet un fonctionnement continu de jour et de nuit, sans arrêt.

14. **Gazogène Cousin.** — La figure 58 permet aisément de se rendre compte des particularités de ce gazogène, qui présente d'ingénieuses nouveautés.

C'est un appareil à cendrier hydraulique sans grille : le cendrier est rempli d'eau et la cuve y fait joint par sa partie inférieure. Elle est portée par des colonnes qui reposent sur le fond du bassin du cendrier : sa section circulaire est fortement évasée vers le bas, pour faciliter la descente et éviter le plus possible les accrochages.

L'air est insufflé par un ventilateur dans un distributeur central, entièrement noyé dans l'eau du bassin ; il en sort par un certain nombre d'évents périphériques, présentant une certaine inclinaison sur l'horizontale. Cette disposition assure une répartition uniforme du vent dans toute la section du foyer.

L'air qui jaillit des évents barbote dans l'eau qu'il traverse et se sature d'eau, avant de s'infiltrer entre les interstices des scories et des cendres. L'eau est d'ailleurs fortement échauffée par le voisinage du feu.

Suivant l'allure que l'on veut obtenir on fait varier la pres-

sion du vent et la hauteur sous laquelle les évents sont immergés, on peut même ouvrir deux étages d'évents.

M. Cousin fait remarquer que le conducteur retire aisément

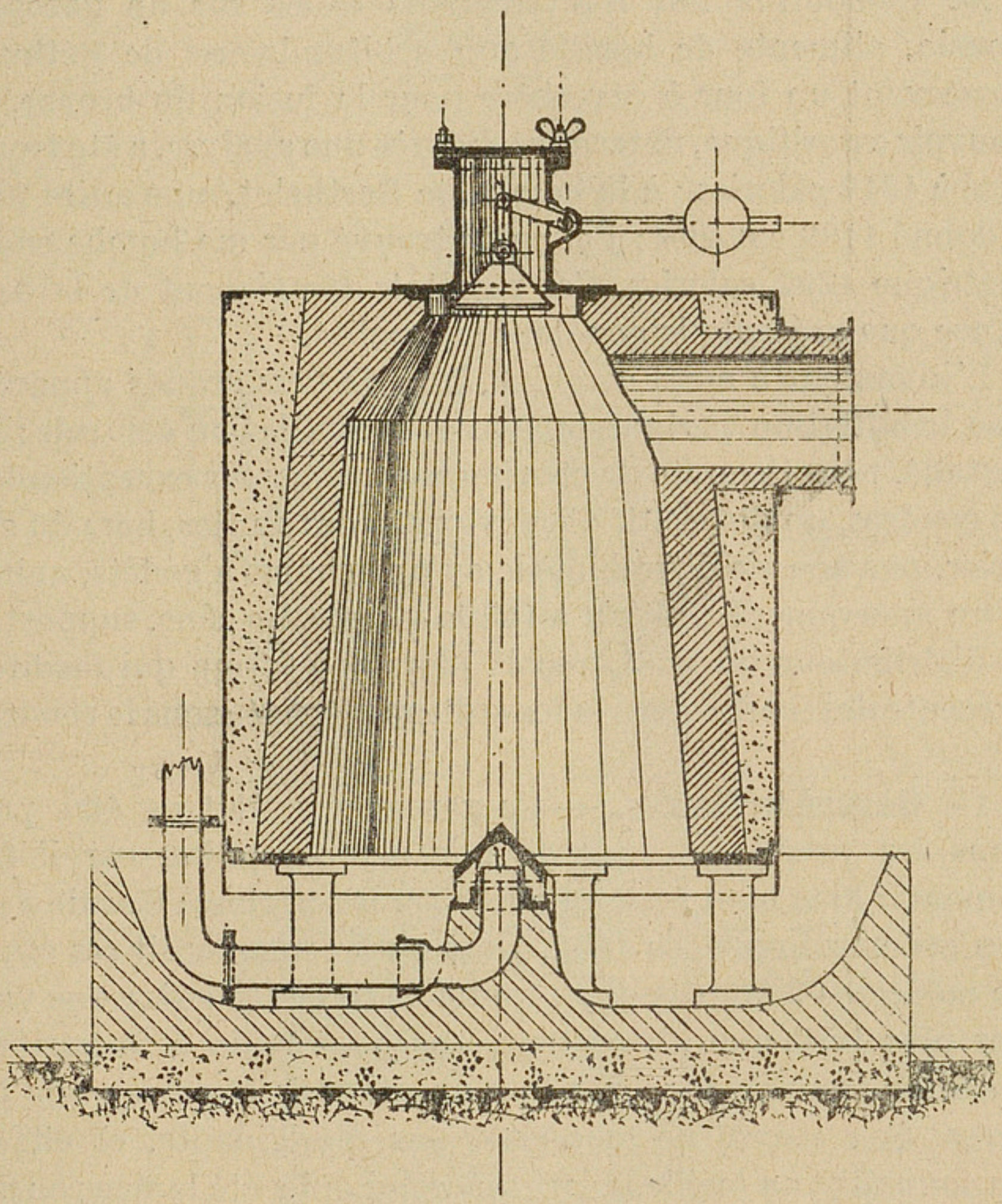


Fig. 58. — Gazogène Cousin.

la couronne de mâchefers qui se forme autour de la section de base, attendu que ceux-ci sont spongieux et peu durs ; le décrassage est facilité.

Des dispositions sont prises pour mettre l'appareil en veilleuse : à cet effet, plusieurs prises d'air, munies de robinets de réglage, permettent de faire arriver dans la cuve, par tirage

direct, la quantité d'air strictement nécessaire pour entretenir une combustion très ralentie. On a pu conserver en cet état un gazogène pendant huit jours : il a suffi ensuite de dix minutes pour le remettre en activité.

M. Lemoult a fait d'intéressants essais sur un gazogène Cousin, alimenté de houille grasse bitumineuse de Béthune, desservant un four à réverbère pour la fusion du bronze. Le pouvoir calorifique, déterminé d'après une analyse, a été trouvé égal à 1319 calories ; à la bombe de Berthelot, une autre prise a donné 1188 calories ; j'ai enfin trouvé par ma bombe eudiométrique 1292 calories. Ces résultats témoignent de la constance que présente le gaz dans sa qualité.

L'inventeur a aussi combiné, dans de plus grands appareils, une insufflation périphérique avec l'insufflation centrale ; il a installé, pour l'emploi de charbons d'une teneur exceptionnelle en cendres, un dispositif d'enlèvement des scories, hors du cendrier, par une vis d'Archimède ou une chaîne à godets, animée d'un mouvement continu à faible vitesse. Le cône, supportant le distributeur du vent, reçoit alors une forme qui facilite la descente des scories dans la fosse d'eau ménagée sous le cendrier.

15. **Gazogène Gardie.** — Ce gazogène aurait pu être placé dans les premiers rangs de nos monographies, car il faut remonter bien haut pour en retrouver les origines ; Gardie a pris son premier brevet en 1863, alors qu'il commençait ses études de médecine à Montpellier : toutefois ce ne fut guère que vingt ans plus tard que l'inventeur, obéissant enfin à sa véritable vocation, put s'adonner à la réalisation de son projet de jeunesse. Son œuvre ne manquait pas d'originalité, et elle eut pu connaître un meilleur sort que celui qui a été le sien ; on n'en parle plus guère aujourd'hui.

Le gazogène Gardie était un appareil soufflé à haute pression ; l'air débité par un compresseur spécial à piston, sous une pression de 6 à 7 kilogrammes, était mélangé à la vapeur d'eau à tension égale, donc à haute température. Telle est la note caractéristique de ce gazofacteur, qui répondait à un concept particulier de moteur sur lequel nous ne pouvons nous arrêter ici. L'emploi des hautes pressions est rationnel en gazéification

car l'action de l'oxygène et de l'acide carbonique sur le carbone incandescent est plus énergique ; la température est élevée, alors que la zone de combustion est réduite ainsi que la durée des réactions. Les carbures sont décomposés et le gaz ne renferme que H, CO, Az, peu de CH^4 et presque pas de CO^2, à peine 2 p. 100 : il n'entraîne qu'une minime proportion de goudrons et n'exige d'autre épuration que celle qui a pour but d'arrêter les poussières.

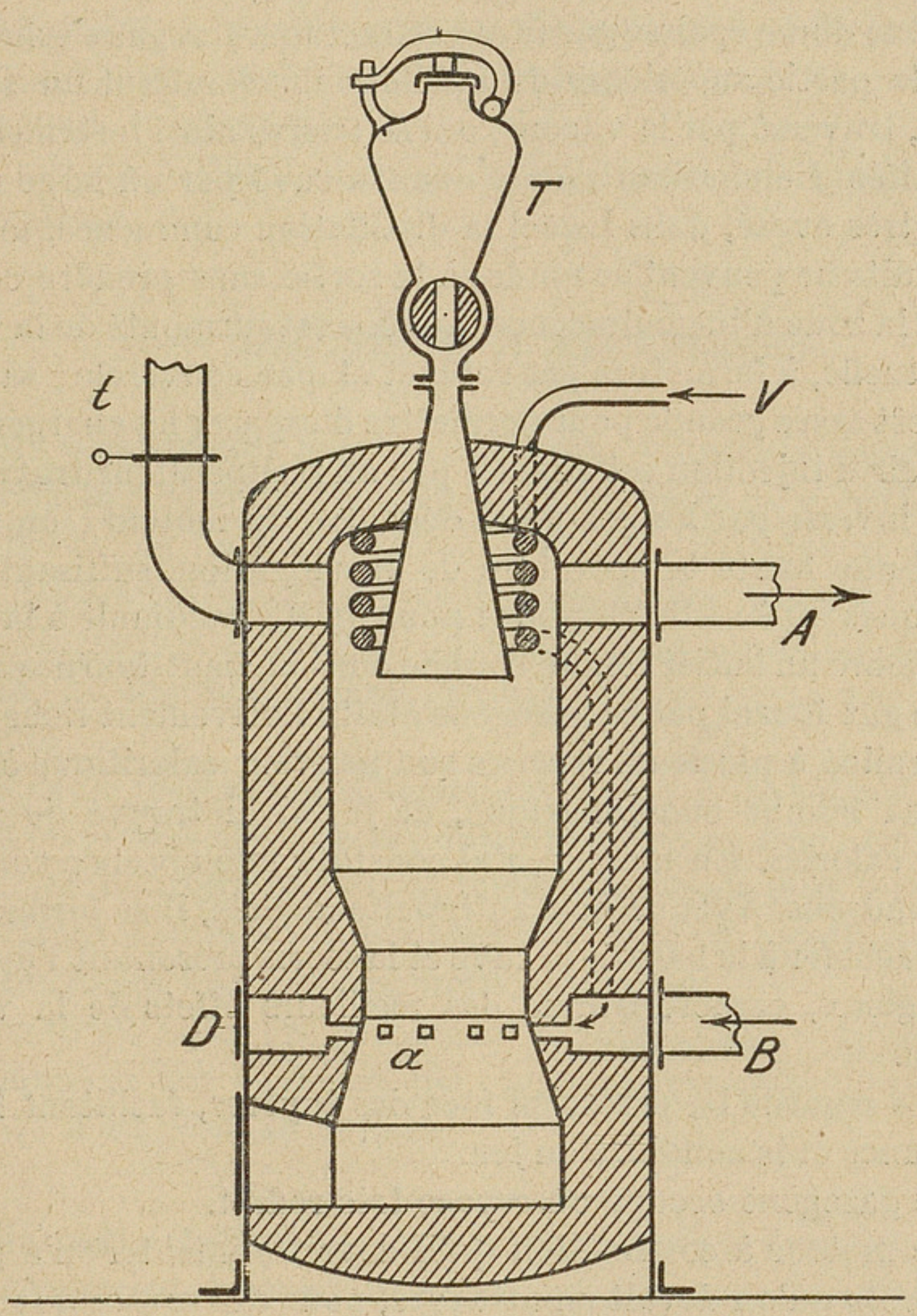


Fig. 59. — Gazogène Gardie.

Ce gazogène (fig. 59) a la forme d'un cubilot ; le charbon est soutenu par les étalages et il n'est pas nécessaire de le faire reposer sur une grille. L'air comprimé, chargé de vapeur, débouche dans la cuve par une couronne de tuyères *a*. La cuve est revêtue d'une épaisse garniture réfractaire. Les gaz s'échappent par la partie supérieure du cubilot ; ils chauffent un serpentin *c*, traversé par la vapeur, qui se trouve ainsi fortement surchauffée. Le charbon s'étale dans la cuve par un large entonnoir très évasé, dans lequel la distillation commence, mais les produits ne peuvent se rendre à la sortie sans prendre contact avec la zone d'incandescence. Le cône est surmonté de la trémie habituelle, à fermeture par robinet et par couvercle ; sa capacité est assez grande pour permettre d'espacer les chargements.

L'air d'injection est chauffé par un récupérateur traversé en sens inverse par les gaz de la décharge du moteur ; on réalise ainsi une haute température de gazéification, suffisante avec quelques espèces de charbons pour qu'il s'accumule à la partie inférieure un laitier fondu, comme dans un haut-fourneau.

Le gaz fourni par ce gazogène était relativement riche et j'ai déterminé à plusieurs reprises son pouvoir calorifique à l'aide de ma bombe eudiométrique, et je lui ai trouvé de 1400 à 1500 calories. En marche, j'ai constaté une absence complète de goudrons. Avec de bon anthracite anglais, il se formait peu de mâchefer à la base de la cuve et la scorie présentait l'appareil spongieux, caractéristique des meilleurs effets de la vapeur d'eau.

Des regards D, percés en face des tuyères, facilitent la surveillance et la conduite du feu.

Ce gazogène occupe un espace très réduit.

Le moteur à combustion qu'il devait alimenter n'a pas eu le succès qu'on devait en attendre, pour des causes que je n'ai pas à rapporter ici ; la haute compression perdait sa raison d'être pour les moteurs à quatre temps et à combustion, auxquels on a essayé d'adapter cet [appareil. Mais elle pouvait être maintenue pour le chauffage des fours, et devait convenir à cette application.

Une Société s'est fondée à Paris pour exploiter cette mise en œuvre, et elle avait obtenu des résultats très satisfaisants,

en faisant emploi de fours de fusion spéciaux, avec récupération des chaleurs perdues. Les prospectus de la Société mentionnaient des appareils d'une capacité de gazéification de 270 kilogrammes de charbon par heure, produisant 1170 mètres cubes de gaz, volume ramené à 0° et 760 millimètres de pression. Il eût été intéressant de connaître le pouvoir de ce gaz et le rendement du gazogène.

Le gazogène Gardie pourra encore trouver de nombreuses applications.

V. — GAZOGÈNES A MÉCANISMES

Alors que certains constructeurs revendiquaient pour leurs appareils la plus grande simplicité de formes et de constitution et l'absence de tout mécanisme, d'autres s'ingéniaient à imaginer des dispositifs qui suppléaient de diverse façon à l'action du conducteur et assuraient, en dehors de sa surveillance intelligente, un fonctionnement régulier et pour ainsi dire automatique.

Les deux thèses sont défendables et il y a de solides arguments en faveur de l'une et l'autre manière de voir : en particulier, les mécanismes peuven têtre très avantageux lorsqu'ils permettent l'emploi de combustibles dont il serait difficile de faire usage avec les appareils ordinaires.

Nombreux sont les gazogènes à mécanismes ; nous n'en mentionnons que quelques-uns, qui peuvent servir d'exemple de ce qu'il est possible de faire.

1. **Gazogène Griffin.** — On a cherché à réaliser dans cet appareil une alimentation continue.

On obtient quelque chose d'approchant en surmontant la cuve (ainsi que nous l'avons déjà vu ci-dessus), d'une longue trémie, dans laquelle le charbon séjourne avant de descendre progressivement dans le feu.

Mais il a paru à plusieurs spécialistes du gazogène que la meilleure pratique consistait dans des chargements de houille fraîche répétés à courts intervalles et portant sur de faibles

quantités à la fois : la distillation s'effectue ainsi sans modification et enrichit régulièrement le gaz de ses carbures. Toutefois on ne saurait demander ce travail à l'ouvrier qui a la direc-

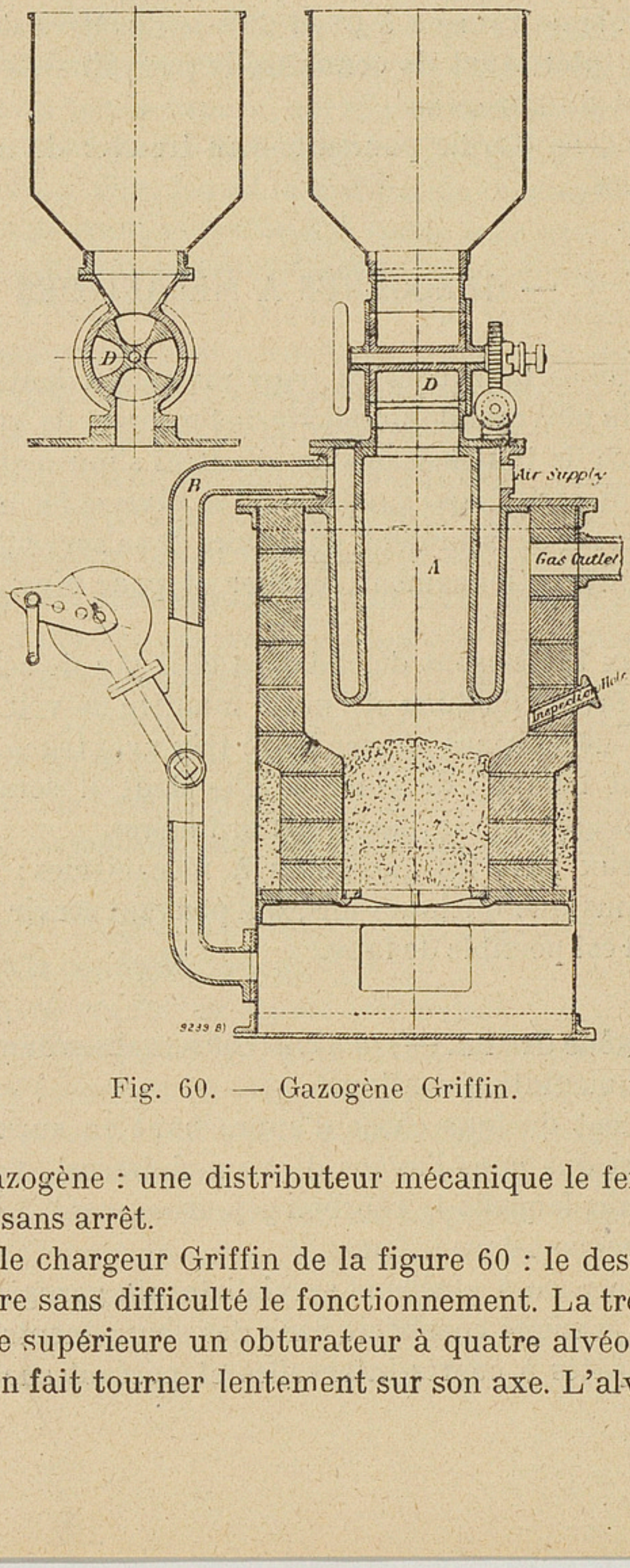


Fig. 60. — Gazogène Griffin.

tion du gazogène : une distributeur mécanique le fera régulièrement et sans arrêt.

Tel est le chargeur Griffin de la figure 60 : le dessin en fait comprendre sans difficulté le fonctionnement. La trémie porte à sa partie supérieure un obturateur à quatre alvéoles qu'une vis sans fin fait tourner lentement sur son axe. L'alvéole tour-

née vers le haut se remplit. Elle se vide, quand une rotation de 180 degrés l'a amenée au point inférieur.

Que devient l'étanchéité de la trémie si nécessaire pour les installations à aspiration ? Il faut évidemment y veiller de près.

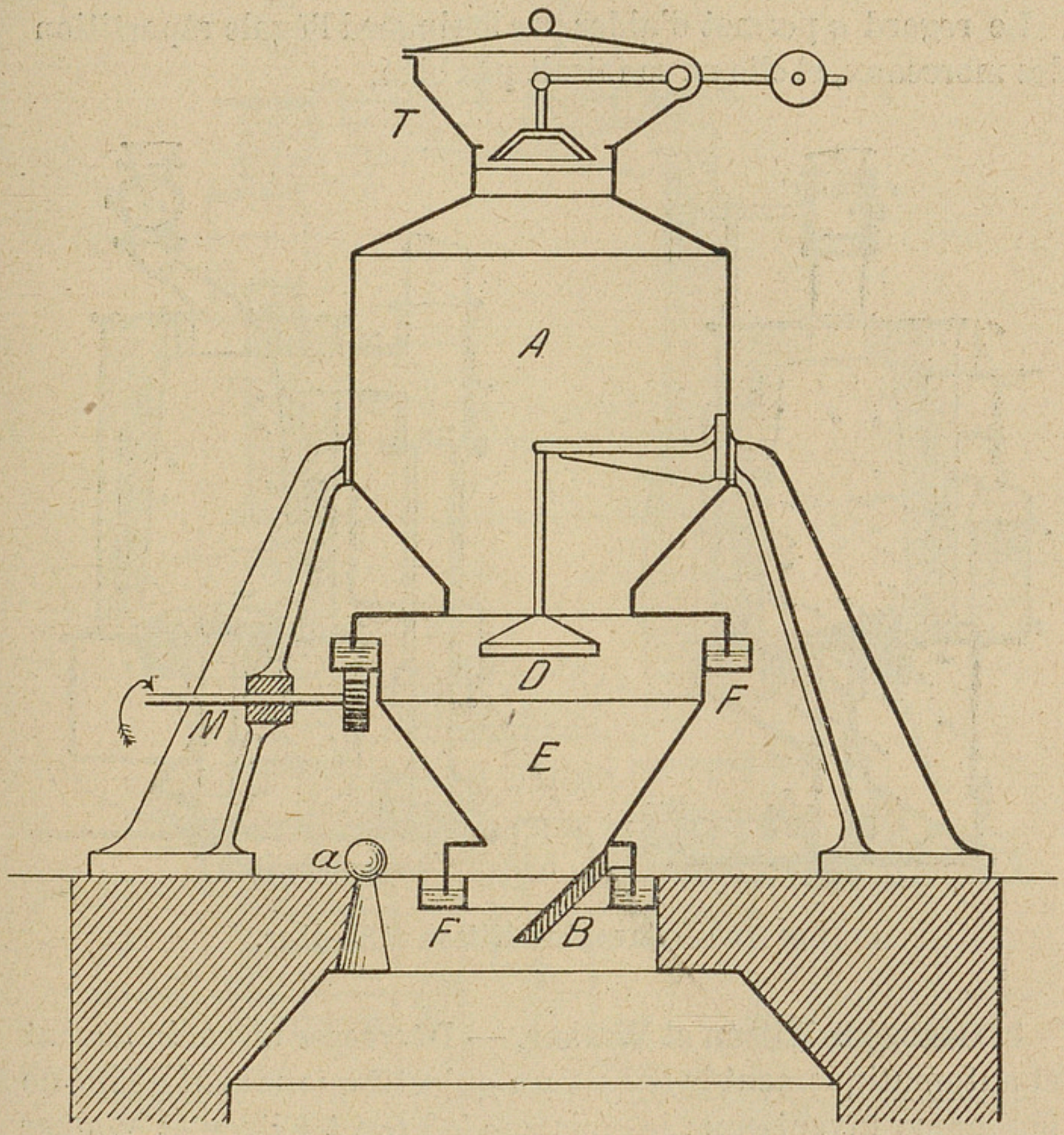


Fig. 61. — Distributeur Morgan.

2. **Distributeur Morgan.** — C'est encore un appareil rotatif : l'axe M (fig. 61) le fait tourner autour de son axe vertical. Le charbon introduit à la main par la trémie T s'accumule dans la chambre de réserve A, d'où la soupape conique D le laisse passer grain à grain dans la cuve. Le cône E tournant éparpille les morceaux par le déflecteur incliné B, et forme une couche

supérieure bien unie et horizontale ; c'est un avantage, dont il ne faut toutefois pas exagérer l'importance.

Plus louable est l'étanchéité complète de ce mécanisme, hermétiquement fermé sur tout son pourtour par des joints hydrauliques F.

Le regard *a* permet d'aider par le ringard l'égale répartition des morceaux, si elle ne se faisait pas bien.

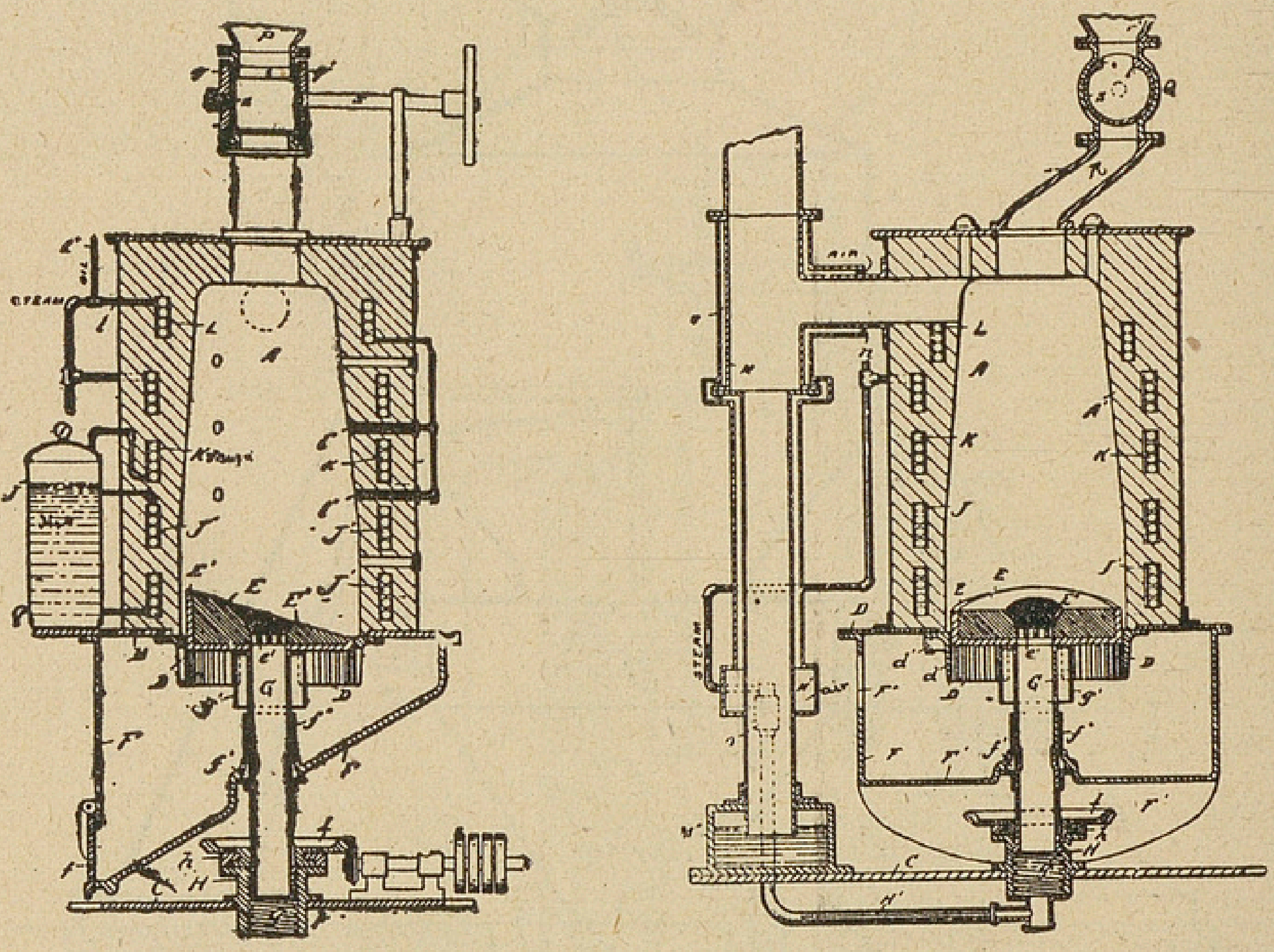


Fig. 62. — Gazogène Kitson et Walker.

3. **Gazogène Kitson et Walker.** — Décrasser mécaniquement et automatiquement le feu est un objectif que se sont donné de nombreux inventeurs : je crois que le brevet Kitson et Walker est un des plus anciens, car j'en trouve déjà la mention dans le premier *supplément* de G. Richard à son *Traité des Moteurs*, en 1892.

Le gazogène est à sole inclinée et tournante ; son axe G (fig. 62) est fileté ; un pignon, visible en bas, sur la gauche, reçoit d'un jeu de trois poulies un mouvement alternatif tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, et il lui imprime un mouvement hélicoïdal alternativement ascendant et descendant. En des-

cendant la grille tournante démasque plus ou moins une autre grille circulaire D, à barreaux oscillants, qui peut s'ouvrir pour

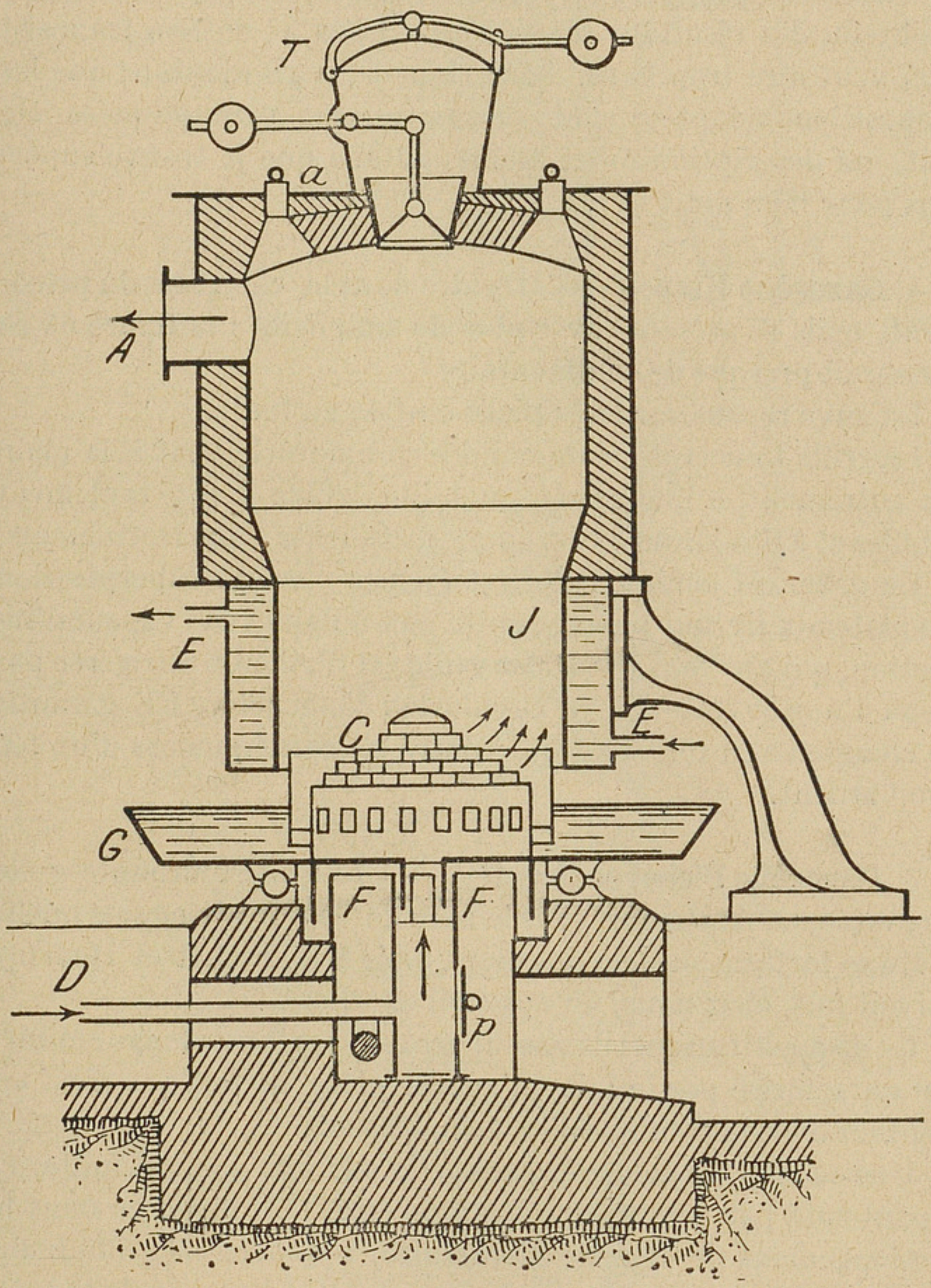


Fig. 63. — Gazogène Kerpely.

livrer passage aux cendres. L'axe G est creux et se trouve traversé par le vent, qui afflue ainsi au centre même du foyer.

Ces dispositifs ont varié avec le temps : on a surtout cherché à abriter les mécanismes et la vis contre les cendres.

Un auteur que j'ai sous les yeux affirme que l'appareil Kitson a obtenu des résultats *excessivement* bons » ; en bon français, cela veut dire trop bons. Admettons-le, mais ajoutons que les dispositions adoptées sont « *excessivement* » compliquées. De fait, ma description omet maints détails que je trouve superflus pour mon petit livre.

4. **Gazogène Kerpely.** — Il rentre dans la catégorie du précédent, mais se présente avec plus de simplicité : la figure 63 se passerait presque de commentaire.

La cuve repose sur trois pieds cintrés en fonte.

La grille tournante, commandée comme on le veut à la main ou autrement, a une grande mobilité, grâce à son roulement à billes et à des joints hydrauliques, étanches, sans frottements.

La grille est conique, elle est formée par une superposition de plateaux livrant passage entre eux à l'air et à la vapeur d'injection, qui arrivent par D. La grille est d'ailleurs réfrigérée par l'eau d'une cuvette C. Une circulation d'eau active EE garantit la chaudière en tôle d'acier J contre les conséquences d'un feu trop ardent.

5. **Gazogène Fichet et Heurtey.** — Une grille tournante a été brevetée, en Amérique, sous le nom de Taylor ; je ne sais quelle a été sa fortune au delà des mers, mais MM. Fichet et Heurtey en ont fait, chez nous, un appareil excellent.

Le dispositif auquel ils se sont arrêtés, après une longue étude, est caractérisé par le fait qu'aucun pièce métallique n'est en contact avec le combustible incandescent.

Une couche de mâchefer, répartie sur une sole en fonte, et maintenue par une trémie conique (fig. 64), disposée dans le prolongement de la cuve réfractaire, remplace la grille habituelle. Cette trémie s'arrête à une certaine distance de la sole, pour permettre aux scories et aux cendres de s'ébouler suivant leur talus naturel.

La sole mobile, montée sur boulets, est munie à sa partie inférieure d'une couronne dentée, engrenant avec un pignon con i -

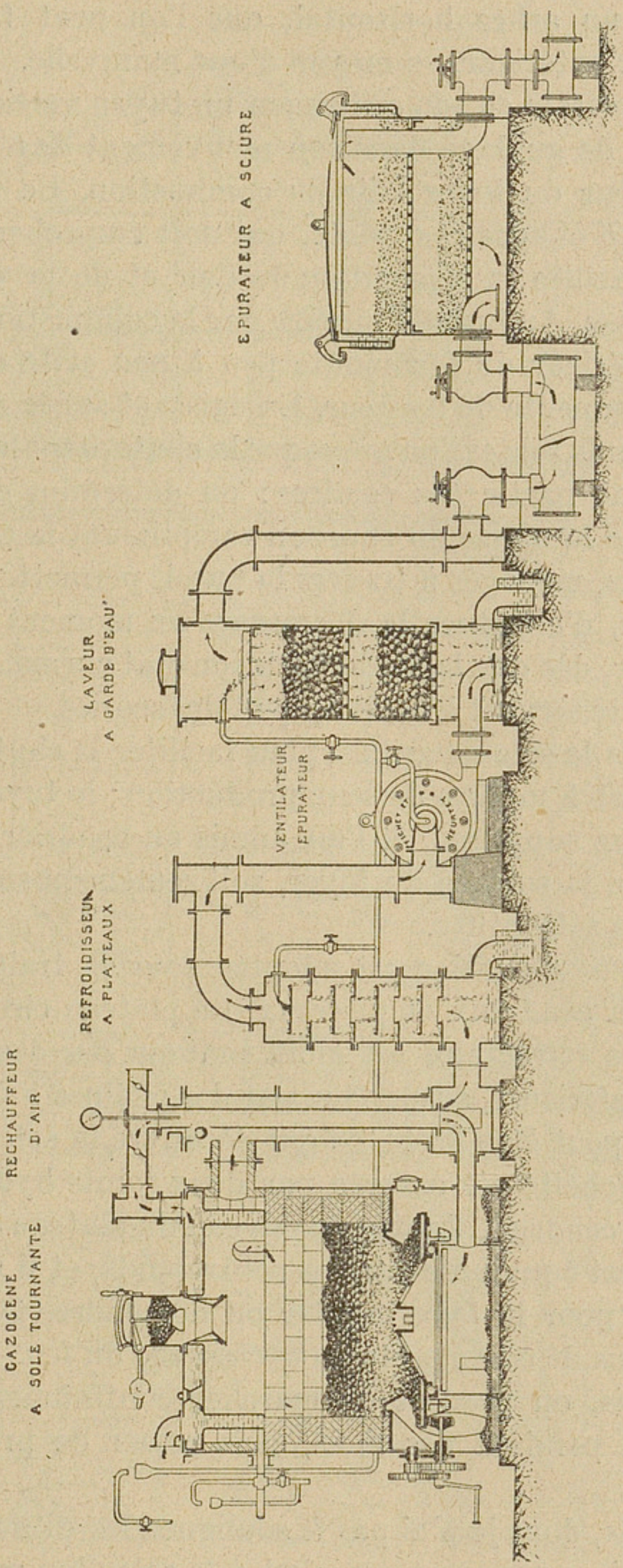


Fig. 64. — Appareils d'une installation de gaz Fichet et Heurtey. Gazogène et appareils d'épuration.

que fixé sur un arbre horizontal, que l'on peut facilement actionner de l'extérieur, au moyen d'une manivelle.

Elle est traversée en son centre par un tuyau vertical qui lui sert d'axe et de guidage dans son mouvement de rotation, et amène au cœur du foyer l'air de combustion. Le tuyau est surmonté d'un chapeau en fonte, qui doit empêcher son obstruction et facilite la répartition de l'air et de la vapeur au sein de la masse. Au fur et à mesure que la combustion s'opère, le niveau inférieur du feu monte peu à peu et la couche de mâchefers augmente de hauteur. En agissant sur la manivelle, on fait tourner la sole et l'on provoque la chute, dans le cendrier, d'une certaine partie des cendres : on détermine de la sorte la descente de la masse du charbon remplissant la cuve.

Des regards, ménagés à travers la paroi, permettent de surveiller le feu, d'effectuer le décrassage au moment opportun et de l'arrêter, dès que le feu a repris son état normal. De larges portes de visite servent à l'enlèvement des scories.

Quelquefois la sole est grillée, pour faciliter la chute des cendres, au fur et à mesure de leur production ; le tuyau central peut alors être supprimé, et l'air admis au cendrier est dirigé soit sur toute la surface du foyer, soit seulement sur la partie centrale de la sole grillée.

Une autre modification est adoptée pour le traitement de charbons très cendreux et pierreux. Le plateau circulaire qui porte la cuve réfractaire est alors soutenu par des colonnes, et la virole inférieure, suspendue par des chaines à des poulies supérieures, peut être levée, ce qui découvre la sole et le cendrier. L'étanchéité est assurée par deux joints hydrauliques, l'un dans le cendrier, l'autre au niveau du plateau circulaire ; cette virole est équilibrée par des contrepoids, et il suffit d'un faible effort pour la faire monter ou descendre. On procède ainsi avec plus de commodité au décrassage du feu.

Quelquefois, on prescrit de marcher continûment et sans aucun arrêt, pendant des mois, sans cesser de produire du gaz.

Dans ce cas, dont je n'ai pas à souligner les difficultés pratiques, on anime par une transmission la sole d'un mouvement continu de rotation : le cendrier est alors disposé différemment.

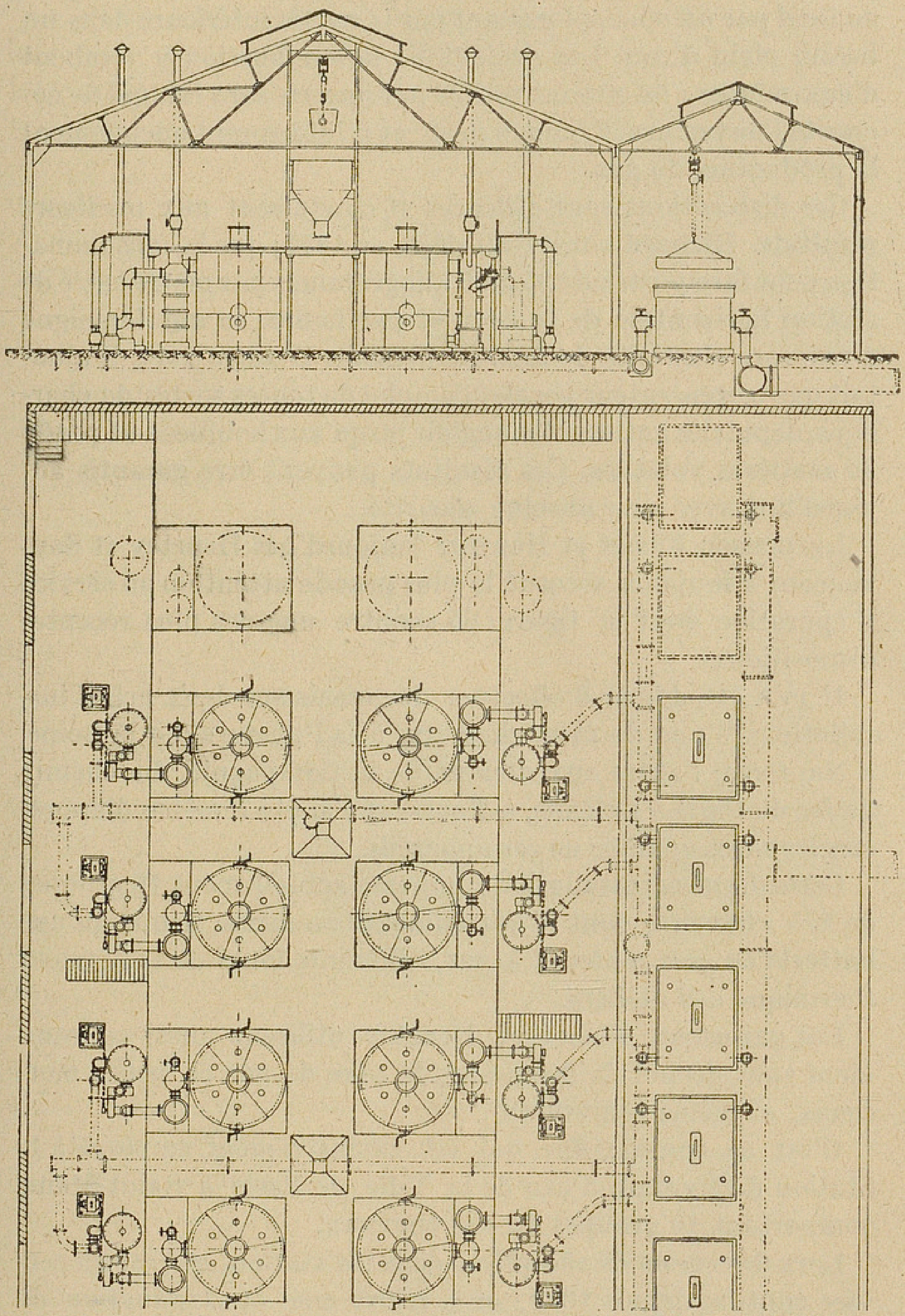


Fig. 65. — Installation de gaz de 2400 chevaux.
Ateliers de Tours de la Compagnie de chemin de fer de Paris à Orléans.

Le gazogène est monté sur colonnes ou murettes ; il est fermé au fond par un cône, plongeant par la partie inférieure dans un bassin plein d'eau. Les déchets de la combustion y tombent d'eux-mêmes ; ils en sont retirés par une vis sans fin, qui ne nécessite l'ouverture d'aucune porte et n'interrompt aucunement la production du gaz.

Ces dispositions sont efficaces et conduisent aux meilleurs résultats. Richard constatait déjà, en 1895, que la consommation peut être portée de 35 à 80 kilogrammes par mètre carré de section horizontale de la cuve et par heure, ce qui témoigne d'une rare élasticité de fonctionnement. D'autre part, il ajoutait que ce générateur permet l'emploi de toutes sortes de charbons, depuis les anthracites anglais jusqu'aux houilles à 31 p. 100 de matières volatiles. Ces résultats peuvent être garantis aujourd'hui avec une absolue sécurité.

La maison Fichet et Heurtey (aujourd'hui Heurtey et Sauvageon) a toujours accordé la plus grande attention au service d'épuration dont la figure 65 montre une des plus récentes dispositions.

Il m'a été donné d'effectuer des essais sur deux belles installations, l'une de 2100 chevaux, à la Papeterie de la Seine, à Nanterre, l'autre aux ateliers de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans, à Tours, et j'ai été à même d'apprécier les rares qualités de ces appareils.

Cette dernière installation comporte actuellement 16 groupes de 275 chevaux, dont le gaz alimente en même temps qu'une batterie de gros moteurs à gaz, différents fours de traitement thermique des ateliers.

Les gazogènes Fichet et Heurtey utilisent aussi couramment sans déchet de décrassage le coke de gaz en petits morceaux, et même le grésillon.

C'est ce combustible qui est exclusivement employé à la Station d'élévation d'eau de la Ville de Paris à Saint-Maur, comportant 10 groupes de 330 chevaux.

Lors des essais de réception de cette station, qui est en service continu depuis 1913, on a relevé une consommation de 399 kilos de coke pour une puissance de 504 chevaux, évaluée en eau élevée, soit 791 grammes par cheval heure net en travail

effectué, c'est-à-dire comprenant la multiplication du rendement des organes intermédiaires moteurs et pompes.

Ce résultat est des plus satisfaisants.

Les gazogènes de ces installations sont autovaporisateurs,

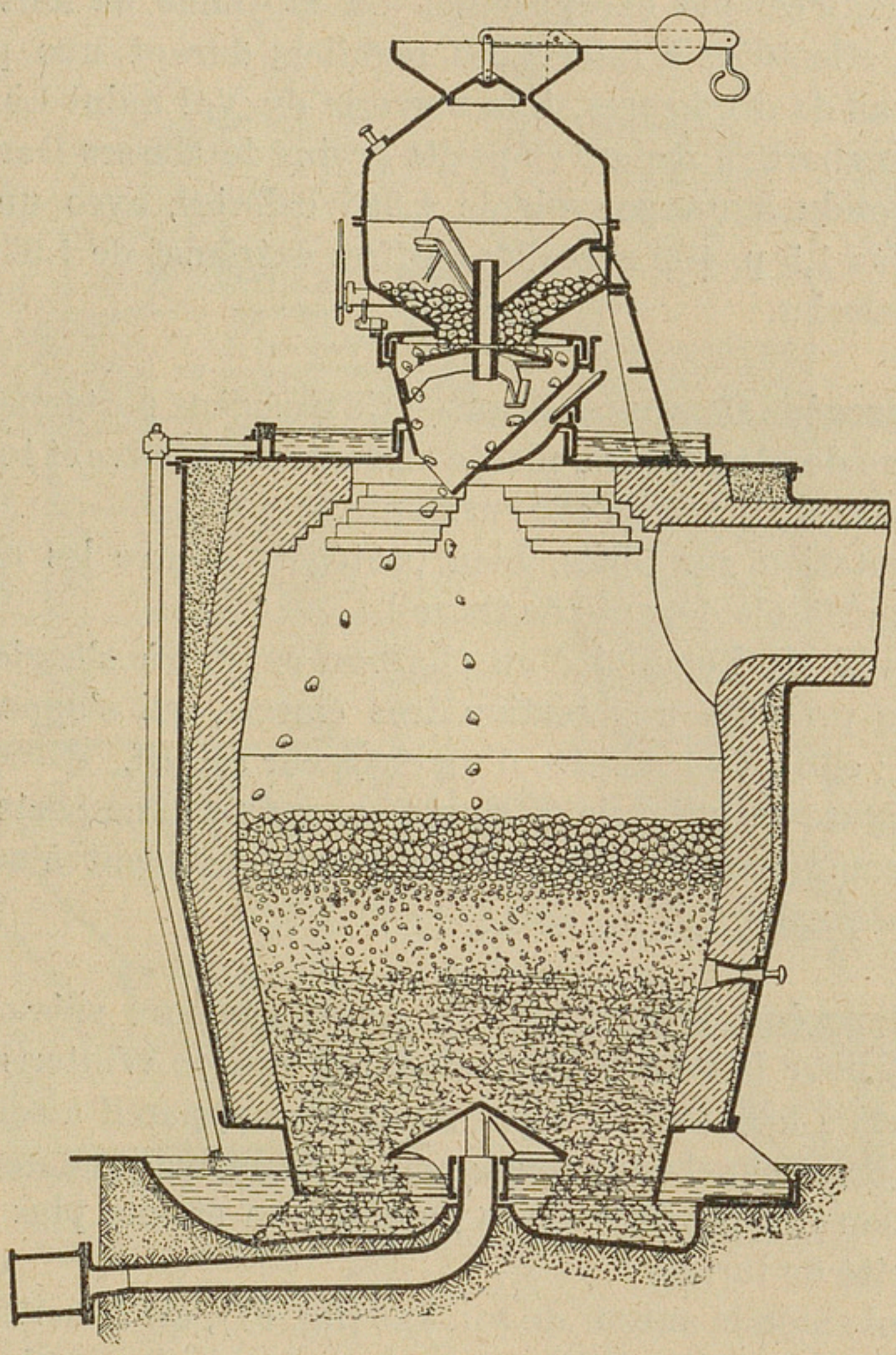


Fig. 66. — Gazogène Chavanne-Brun.

c'est-à-dire utilisent directement la chaleur sensible du gaz pour assurer l'humidification de l'air ce qui donne le meilleur rendement s'il s'agit de produire du gaz froid.

Quand ils récupèrent la chaleur sensible pour surchauffer l'air humide, les constructeurs garantissent habituellement

une production de 4.500 litres de gaz par kilogramme de houille maigre à 7.500 calories ; le gaz ayant un pouvoir de 1.300 calories, le rendement atteindrait 78 p. 100. Ce pouvoir, correspondant à une allure à forte injection de vapeur surchauffée, n'est pas exceptionnel. La moyenne de huit prises de gaz, effectuées à intervalles réguliers durant une période de travail de dix heures, à la verrerie du Val Saint-Lambert, avec du charbon maigre en petits grains de Masses-Darbois, a correspondu à un pouvoir de 1.345 calories, avec un écart d'au plus 1,5 p. 100 entre les chiffres extrêmes de 1.325 et de 1.358 calories.

6. **Gazogène Chavanne-Brun.** — Ce gazogène porte une grille, en forme de cône ajouré, placée au centre de la cuve et tournant avec le bassin d'eau qu'elle surmonte.

La rotation sur billes, bien protégées contre les cendres, exige une faible dépense de travail.

En vue de l'emploi d'un charbon exposé à s'agglomérer, la cuve présente une section très élargie, qui s'oppose aux voûtes ; elle est surmontée d'un chargeur rotatif.

La figure 66 fait voir ce chargeur, mais elle ne porte pas la grille conique tournante ; on suppléera aisément à cette lacune du dessin.

7. **Gazogène Winterthur.** — Les ingénieurs suisses de la Société pour la construction de machines de Winterthur ont entrepris à leur tour la fabrication d'un appareil à sole tournante, pour lequel ils revendiquent plus de facilité dans la manutention des produits de la combustion et une plus grande simplicité de formes.

La sole mobile autour de son axe (fig. 67), est constituée par une série d'anneaux en fonte superposés, sur le pourtour desquels sont pratiquées des ouvertures appropriées ; le courant d'air saturé de vapeur est amené sous le champignon dans sa partie centrale, et il se répartit uniformément sur toute la section du foyer.

Pour décrasser, on fait tourner la sole toutes portes fermées, ce qui ne trouble en rien la production du gaz.

La trémie de chargement 24 porte une ou deux allonges 22 et 23, suivant que le charbon est menu ou en forte gailletterie.

Il est très facile de marcher en veilleuse, mais on prend alors la précaution de remplir entièrement d'eau le vaporisateur V ;

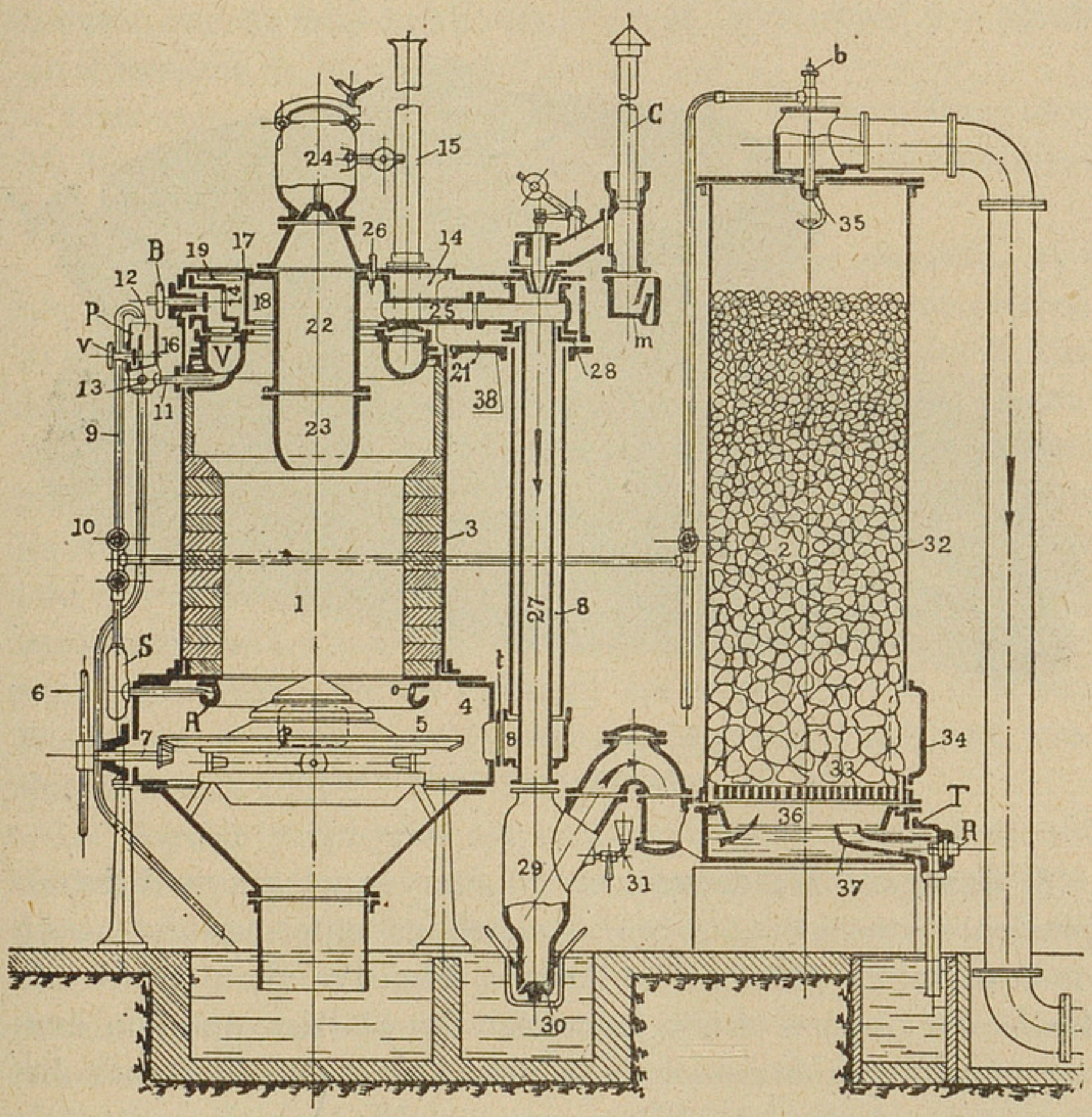


Fig. 67. — Gazogène Winterthur à sole tournante.

le tuyau vertical 9 déverse de l'eau sur la sole par la rigole R.

Le cendrier se prolonge par le bas ; sa fermeture est hydraulique, suivant la disposition communément employée aujourd'hui.

Le détail de la sole tournante est donné par la figure 68 ; on remarquera que, sur ce dessin, la rotation est obtenue par une vis sans fin, engrenant avec une roue dentée extérieure,

ce qui paraît préférable à l'emploi d'un roue conique inférieure, indiquée sur la figure précédente.

On a pu traiter dans ce gazogène des charbons à 20 p. 100 de cendres, si toutefois celles-ci ne sont pas trop fusibles, auquel cas la cuve est pourvue d'un refroidisseur spécial.

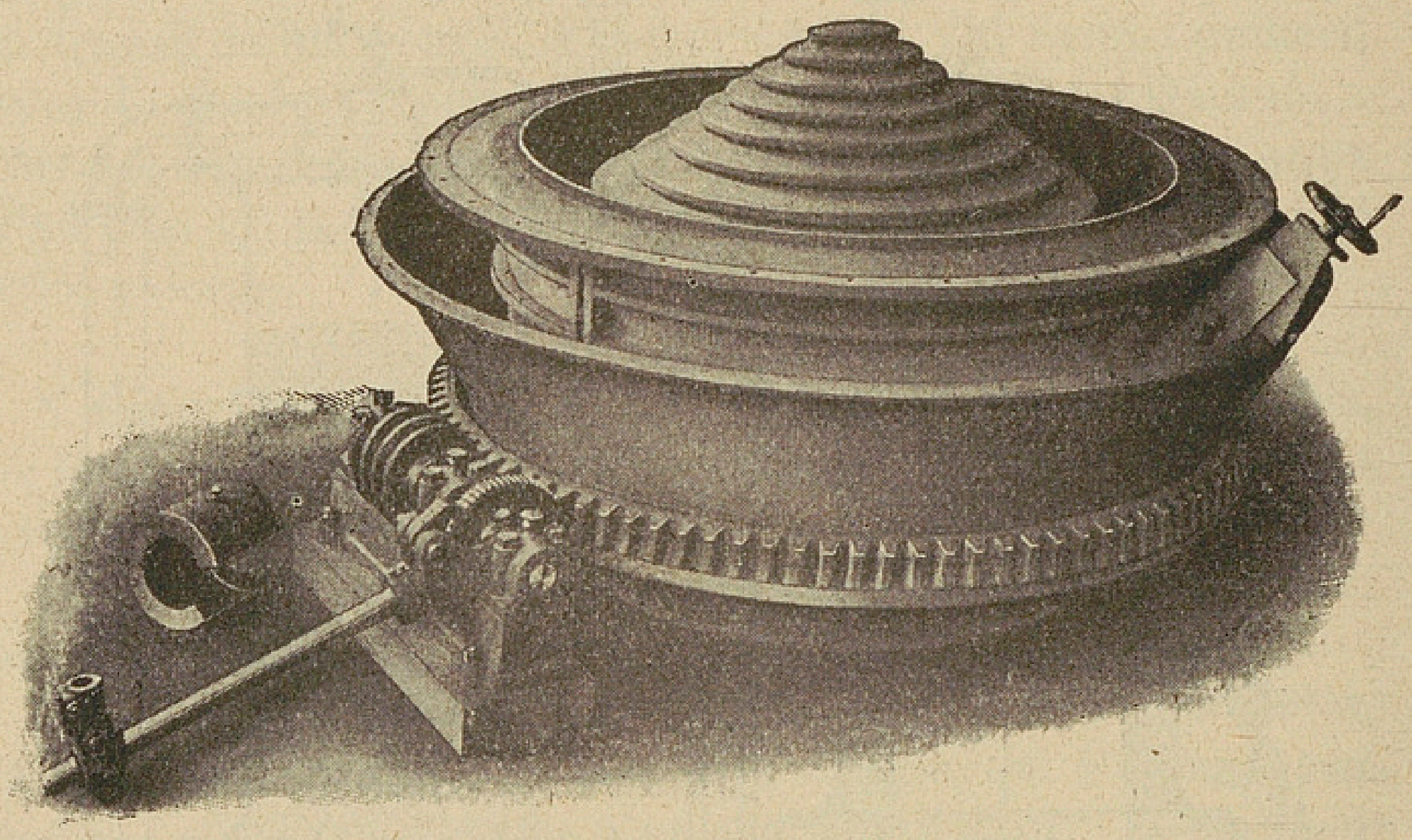


Fig. 68. — Sole tournante Winterthur.

8. **Gazogène Marconnet.** — M. Marconnet poursuit depuis plusieurs années l'utilisation de charbons renfermant beaucoup de cendres, en préconisant l'allure intensive aboutissant à la fusion des cendres et à la formation d'un laitier, que l'on évacue par un trou de coulée. Mais pour peu que le charbon colle, il ne descend plus ; M. Marconnet installe donc au sommet de la cuve un poussoir mécanique, qui force le charbon à gagner le fond.

La section de la cuve est souvent rectangulaire, de plusieurs mètres de côté ; les tuyères donnant le vent sont logées sur les grands côtés du rectangle. La partie basse est formée de water-jacketts interchangeables. Les garnitures siliceuses ne tiendraient pas au feu intense, entretenu par un soufflage énergique : on s'est bien trouvé d'abord en se servant de briques à forte teneur d'alumine, contenant moins de 1 p. 100 de fer ;

mais le mieux a été de supprimer tout revêtement réfractaire et de marcher directement sur tôles avec enveloppe d'eau.

Du moment où les cendres sont évacuées sous forme de laitier, la teneur en cendres n'importe plus : au contraire, il en faut beaucoup. A Seraing, aux établissements Cockerill, on n'avait que de trop bonne houille : M. Marconnet y a ajouté un cinquième de crassiers de l'usine.

Mais cela ne va plus quand la houille est trop fine ; alors M. Marconnet la broie et la pulvérise ; et nous voilà conduits à son gazogène à pulvérisation.

Cet appareil est à chargement automatique continu, et il n'est pas sans analogies (lointaines assurément, mais réelles), avec les carburateurs à pétrole, car les fines particules de carbone sont entraînées dans le tourbillon d'un violent courant d'air comme le sont les gouttelettes d'hydrocarbure, et leur extrême division moléculaire les assimile plus ou moins à un liquide. La pulvérisation du charbon doit être poussée aussi loin que possible, telle qu'elle ne laisse qu'un refus de 5 p. 100 sur le tamis de 4.900 mailles au pouce carré, donc pour 6,25 centimètres carrés : on ne l'obtient qu'en séchant le charbon. M. Marconnet donne la préférence aux broyeurs à anneaux, avec séparateurs à vent.

Le charbon porphyrisé est transporté par le vent dans une chambre en maçonnerie maintenue à une température élevée, dans laquelle s'effectue la gazéification. La distributeur est d'une telle simplicité qu'il peut être décrit sans figure ; la poudre de charbon est versée dans une trémie à axe vertical, au bas de laquelle se trouve un plateau horizontal tournant, disposé à une distance déterminée : le charbon s'écoule par le jeu libre entre le bas de la trémie et le plateau, où se forme un cône d'éboulement. Une raclette fait tomber la poussière en pluie fine sur une palette, qui la conduit vers l'ouïe d'aspiration d'un ventilateur. Un régulateur gouverne à la fois et le débit du ventilateur et celui du distributeur.

Le système Marconnet convient assurément mieux à l'alimentation d'un foyer qu'à celle d'un moteur ; il a donné de remarquables résultats pour le chauffage des chaudières, en chauffant l'air secondaire ; les fumées renferment de 15 à 18

p. 100 de CO^2 et pas de CO, ce qui est la caractéristique des meilleures combustions.

Avec des fines mêlées Anzin et Meurchin, d'un pouvoir de 7.215 calories, on a vaporisé 8 k. 8 d'eau par kilogramme de charbon, au cours d'un essai de 49 heures, effectué sur une chaudière multitubulaire ; en même temps le pouvoir vaporisateur du générateur croissait considérablement, les tubes supérieurs étant enveloppés par la flamme

Le procédé a permis d'utiliser des poussiers schisteux à 50 p. 100, voire même à 65 p. 100 de cendres (1).

M. Marconnet a même pulvérisé et gazéifié avec succès des rebuts de mines : il a conçu le projet de remettre en œuvre les terrils constitués depuis cinquante ans à côté des fosses. Ce serait un nouveau triomphe du gazogène et de la gazéification.

9. **Gazogène Parsy.** — Les constructeurs de cet appareil revendiquent l'application d'un « principe nouveau », ce qui est devenu une chose assez rare aujourd'hui : nous leur laissons le soin de l'exposer.

« Tous les gazogènes, disent-ils, à décrassage automatique connus à ce jour, comportent une sole tournante, supportant une grille faisant corps avec elle. Il s'en suit que les cendres et mâchefers, qui reposent sur cette grille, sont entraînés par son mouvement de rotation, alors que le charbon incandescent qui les surmonte n'est pas entraîné. Il y a donc décollement des deux couches et formation inévitable d'une voûte de mâchefer.... Le gazogène Parsy a été conçu pour supprimer ce grave inconvénient. Il ne comporte pas de grille, et la couche de cendre, surmontée du combustible incandescent, repose directement sur la sole du gazogène qui est fixe au lieu d'être tournante. » Un agitateur hélicoïdal fait subir aux morceaux de charbon et aux cendres un mouvement sinusoïdal les soulevant et les faisant retomber d'un mouvement lent et continu, qui détruit les cheminées et réalise un brassage des éléments très énergique. Cet agitateur est formé de plusieurs branches rayonnant autour d'un axe ; il est animé d'un mouvement de

(1) *Chaleur et Industrie*, mai 1920.

rotation uniforme ; on peut faire varier sa vitesse, suivant la nature du combustible. Les surfaces gauches des branches chassent les cendres du centre vers la périphérie. Une petite noria peut être utilisée pour les évacuer : on assure quelles sont absolument exemptes d'escarbilles de charbon, ce qui serait un résultat important.

La cuve est surmontée d'un chargeur automatique; les morceaux de charbon tombent sur un cône distributeur en mouvement, qui les égrène et les répartit uniformément.

10. **Gazogène Batigne.** — Nous donnerons encore la parole à l'inventeur et le prierons de nous présenter lui-même son appareil.

« Une grille rotative, nous écrit-il, doit remplir un double but : 1° elle doit remuer la masse de crasses et de combustible dans la zone de combustion, et 2° elle doit broyer contre la couronne métallique, formant joint hydraulique, les morceaux trop gros pour être évacués... Pour remplir ce double effet, le gazogène Batigne est muni d'une grille ronde, excentrée par rapport à la cuve, et possédant par rapport à celle-ci un mouvement planétaire. La grille porte un engrenage à denture extérieure dont les dents sont en prise avec la denture intérieure d'un engrenage fixe, venu de fonte avec la base du gazogène portant la couronne de billes. On conçoit dès lors aisément que la grille, ayant par rapport à la couronne de broyage un mouvement de glissement comme dans tous les gazogènes, et de plus un mouvement relatif de roulement, elle joue très efficacement le rôle de broyeur et facilite l'expulsion des crasses et des mâchefers. »

Ce gazogène est muni aussi d'un chargeur mécanique, qui serre le charbon contre les parois de la cuve et non pas au centre, attendu que, dit M. Batigne, c'est près des parois que le vent a plus de tendance à passer ; c'est là en effet que la masse est plus perméable, par suite du retrait subi par la houille au feu et au frottement contre la garniture réfractaire. Ce chargement périphérique est effectué au moyen d'une goulotte de répartition, refroidie par une circulation d'eau et tournant sur elle-même ; au-dessus d'elle, est fixé un cône distributeur dont la vi-

tesse de rotation est réglable ; la surface extérieure de ce cône est taillée de façon à assurer contre la paroi dentée de la trémie chargeuse un concassage des morceaux trop gros. On peut donc charger des tout-venants.

11. **Gazogène Leflaive.** — Les ateliers de la Chaléassière, de MM. Leflaive et Cie, ont aussi entrepris de construire un gazogène à mécanisme ; ce genre de producteurs a donc tout au moins la faveur des inventeurs, en attendant qu'il ait celle des clients.

Ce gazogène se compose d'un corps cylindrique fixe, en tôlerie, portant à sa base une grille tournante et une cuve à cendres fixe. La grille comporte des orifices étagés, qui répartissent l'air dans toute la section du gazogène ; elle a la forme d'une étoile et les saillies qu'elle présente remuent le charbon incandescent et empêchent les croûtes de se former. Un soc de charrue élimine les cendres.

La trémie supérieure, portée par le couvercle, est à double cône, en vue de répartir le charbon sur toute la section du gazogène : on peut déplacer la cloche du distributeur suivant le besoin.

MM. Leflaive ont construit des appareils dont la cuve mesure 2 à 3 mètres de diamètre intérieur ; la hauteur du charbon sur grille est de 80 centimètres à un mètre.

On a réussi à traiter des charbons français contenant jusqu'à 40 p. 100 de fines ; le gaz renfermait 8 à 10 d'hydrogène, 26 à 28 d'oxyde de carbone et 3 à 4 p. 100 d'acide carbonique. Avec des charbons riches en matières volatiles, on dit avoir obtenu du gaz d'un pouvoir de 1.400 à 1.500 calories. Ces renseignements m'ont été communiqués par MM. Leflaive.

12. **Gazogène Pineau.** — Il s'agit ici d'un appareil à chargement mécanique par dessous. Le charbon distille alors au fur et à mesure de son introduction dans la cuve au sein de la matière déjà portée à l'incandescence. Le goudron se décompose et le gaz subit un filtrage à la traversée du coke au rouge. Ce résultat est obtenu d'autant plus sûrement que le chargement est continu et qu'il s'effectue progressivement.

Les chargeurs par dessous ont été employés depuis long-

temps et ne peuvent avoir aucune prétention de nouveauté ; mais l'inventeur revendique l'originalité du dispositif de montée verticale du charbon. Une trémie latérale le déverse dans les filets d'une vis d'Archimède horizontale, dont le mouvement le fait progresser en avant et le pousse dans les filets d'un tronçon de vis centrale verticale, animée elle-même d'un mouvement de rotation. Des disques découpés en trèfle à quatre feuilles, dont les pales s'engagent dans les filets de la vis centrale, interviennent alors pour assurer l'ascension du combustible. Ils tournent librement sur leur axe, mais forment des cloisons mobiles verticales, qui empêchent la matière de suivre la vis dans son mouvement de rotation et déterminent une poussée suivant son axe. Le charbon monte régulièrement, nous dit-on, sans broyage ni coincement. La vis fait trois ou quatre tours par minute, mais on pourrait lui donner une vitesse plus grande. Le mécanisme, composé d'un train de roues dentées et de deux roues coniques, est entièrement protégé contre l'obstruction des cendres.

Le combustible brûlé repose par un cône d'éboulis sur une grille ; un vaporisateur entoure le cône et fournit de la vapeur par un passage annulaire, qui sert de protection contre une chaleur trop intense du feu.

M. Pineau a monté son gazogène sur une locomobile de 30 chevaux ; l'appareil présente, paraît-il, une faculté d'autoépuration qui dispense de laver le gaz.

VI. — GAZOGÈNES A CUVES JUMELLES

Je me dispenserai de revenir sur ce qui a été dit ci-dessus de la destruction des goudrons par le feu, et me bornerai à rappeler que, pour réussir cette opération, il est nécessaire de placer les goudrons dans une atmosphère oxydante à une température élevée, afin de donner lieu à une combustion préalable, mais partielle, avant de faire passer le mélange gazeux sur une colonne de coke maintenue au rouge, par le contact d'une quantité déterminée de vapeur et d'air.

La chaleur seule est donc incapable d'éliminer les goudrons d'un gaz ; il faut l'atmosphère oxydante. D'autre part, la

combustion opérée doit rester partielle, sinon la température monterait trop haut et rien ne lui résisterait, ni grilles, ni terres réfractaires ; enfin, il se produirait un tel excès de CO^2, qu'aucune colonne de coke ne serait assez longue pour le réduire. C'est le cas de dire, comme toujours : *est modus in rebus* ; on ne s'en est pas toujours assez rendu compte, me semble-t-il, et cela explique certains échecs.

L'emploi de cuves jumelles n'est point une nouveauté, quoi qu'on ait pu en dire ; en effet, Lencauchez a exhumé d'un mémoire d'Ebelmen, de 1842, la description d'un appareil proposé par l'illustre ingénieur français, dont on semble méconnaître aujourd'hui l'initiative féconde. A son gazogène en forme de cubilot, il adjoignait une seconde cuve à peu près d'égale hauteur ; dans la première, il chargeait du bois cru, dans la seconde du charbon de bois. Le bois brûlait dans le cubilot, et les produits de la combustion incomplète, accompagnée de distillation, traversaient la seconde cuve où le charbon de bois était au rouge ; le vent entrait dans le cubilot par le haut, le parcourait de haut en bas, recevait un appoint d'air surnuméraire au bas de la colonne et y remontait de bas en haut, en s'infiltrant entre les interstices du charbon incandescent. Nous trouvons là une première application du tirage renversé ; il était bon de le mentionner et de lui donner une date. Le gaz recueilli au sortir de la seconde cuve était dépouillé de ses goudrons.

Cet hommage rendu à celui qui a inventé les cuves jumelles, nous pouvons aborder l'étude des appareils préconisés depuis lors.

1. **Gazogène Twaite.** — Un premier dispositif mettait les deux cuves en série, à la suite l'une de l'autre, ainsi que cela se voit sur la figure 69. La combustion avait lieu dans la première cuve, la réduction dans la seconde. Le dessin montre bien, à la base de cette dernière, les tuyères d'admission de l'air surnuméraire.

Cette installation permettait d'utiliser des houilles à 30 p. 100 de produits volatils et 27 p. 100 de cendres, et il y avait lieu de se déclarer satisfait ; mais on voulut faire mieux.

La nouvelle organisation était plus complexe. Il fallait entre-

tenir la haute température de la colonne de réduction ; pour cela, on se souvint de ce qu'avait fait Siemens, et l'on s'avisa de recourir à un renversement de marche, de la manière qui suit :

Les deux cuves furent réunies par le haut ; l'air fourni au bas de la première A la parcourait de bas en haut ; les gaz ainsi engendrés étaient conduits à la partie supérieure de la seconde B, qu'ils redescendaient, en y subissant la combustion partielle et la réduction qui sont l'objet du système. Au bout d'un certain temps, A était très chaud, B tendait à l'être moins ; à ce

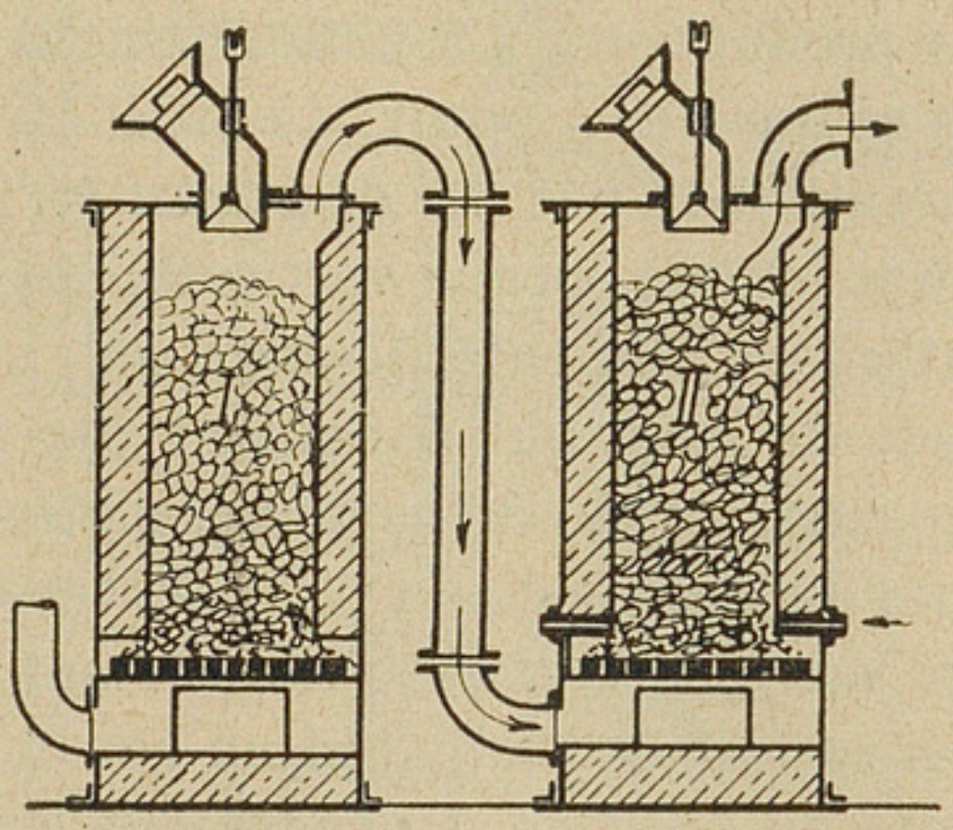


Fig. 69. — Gazogène à cuves jumelles.

moment, on intervertissait le sens du tirage, le vent étant donné au bas de B, et les gaz sortant par le bas de A. Les gaz trouvaient ainsi toujours la température nécessaire aux phénomènes de réduction, mais au prix d'une complication sérieuse, le renversement de marche.

L'appareil Twaite à fonctionnement reversible, de la seconde manière, est muni d'engins très ingénieux et réellement originaux, dont je ne décrirai pas les détails ; ils intéresseraient médiocrement les lecteurs de ce petit livre.

L'efficacité du procédé est remarquable, puisqu'on a pu traiter de la sorte des charbons gras et bitumineux et même mélanger à la houille des brais et des huiles lourdes, ce qui est remarquable, sans avoir à épurer les gaz.

Mais la richesse des gaz était variable d'un moment à l'autre,

et un gazomètre de capacité considérable s'imposait nécessairement pour l'usage des fours aussi bien que pour l'alimentation des moteurs. C'était le revers de la médaille.

Les gazogènes Twaite ont pris de grandes dimensions, et l'on a décrit des installations d'une puissance motrice de 300 chevaux ; on leur a attribué un rendement de 81 p. 100 en gazéification.

Gazogène Riché. — M. Riché débuta par faire du gaz à l'eau sur du charbon de bois, dans un appareil qui peut rentrer dans la catégorie des producteurs à fonctionnement continu, mais qui en diffère en ce que des produits de distillation se mêlaient à ceux de la génération du gaz. Le dispositif qu'il avait adopté se composait d'une longue cornue verticale, chauffée au rouge par un foyer extérieur, alimenté de charbon ; on chargeait la cornue de déchets de bois, qui donnaient par distillation un mélange d'hydrogène, oxyde de carbone, méthane, goudrons, etc., accompagnés de vapeur d'eau ; à la traversée du charbon de bois, au rouge, accumulé au bas de la cornue, ce mélange se décomposait et il sortait de l'appareil un gaz à 3.000 calories. En tenant compte du charbon dépensé pour maintenir le bas de la cornue à la température de 900°, nécessaire à la réaction, le rendement thermique était médiocre, mais le gaz était bon, et on l'obtenait par des déchets de bois sans valeur.

Une chaude discussion s'éleva, en 1899, aux Ingénieurs civils, entre l'inventeur du procédé et Lencauchez, qui se refusait à voir dans les cornues un gazogène ; ce n'était qu'une discussion de mots, mais elle souleva d'importantes questions de principe qu'on lit encore avec intérêt aujourd'hui, bien que les choses aient beaucoup progressé depuis lors.

Plus tard, M. Riché semble s'être inspiré des idées d'Ebelmen et de Twaite et il a dédoublé ses cornues ; sa nouvelle création possède une certaine originalité.

Son gazogène, dont la figure 70 donne une coupe verticale, est constitué par deux cuves, réunies à leur partie inférieure par un carneau horizontal.

La première, à droite, est la cuve de combustion ; à sa base, se trouve le foyer, avec grille à gradins, alimenté d'air soufflé

amené par un tuyau qui débouche à la partie supérieure du cadre de la porte. Les produits de la combustion se rendent par le carneau au pied de la seconde cuve, la cuve de réduction, garnie de coke ou de charbon de bois. Une deuxième entrée d'air, introduisant l'air secondaire, placée au milieu du carneau horizontal, permet à la combustion partielle des produits reçus par cette cuve de s'achever

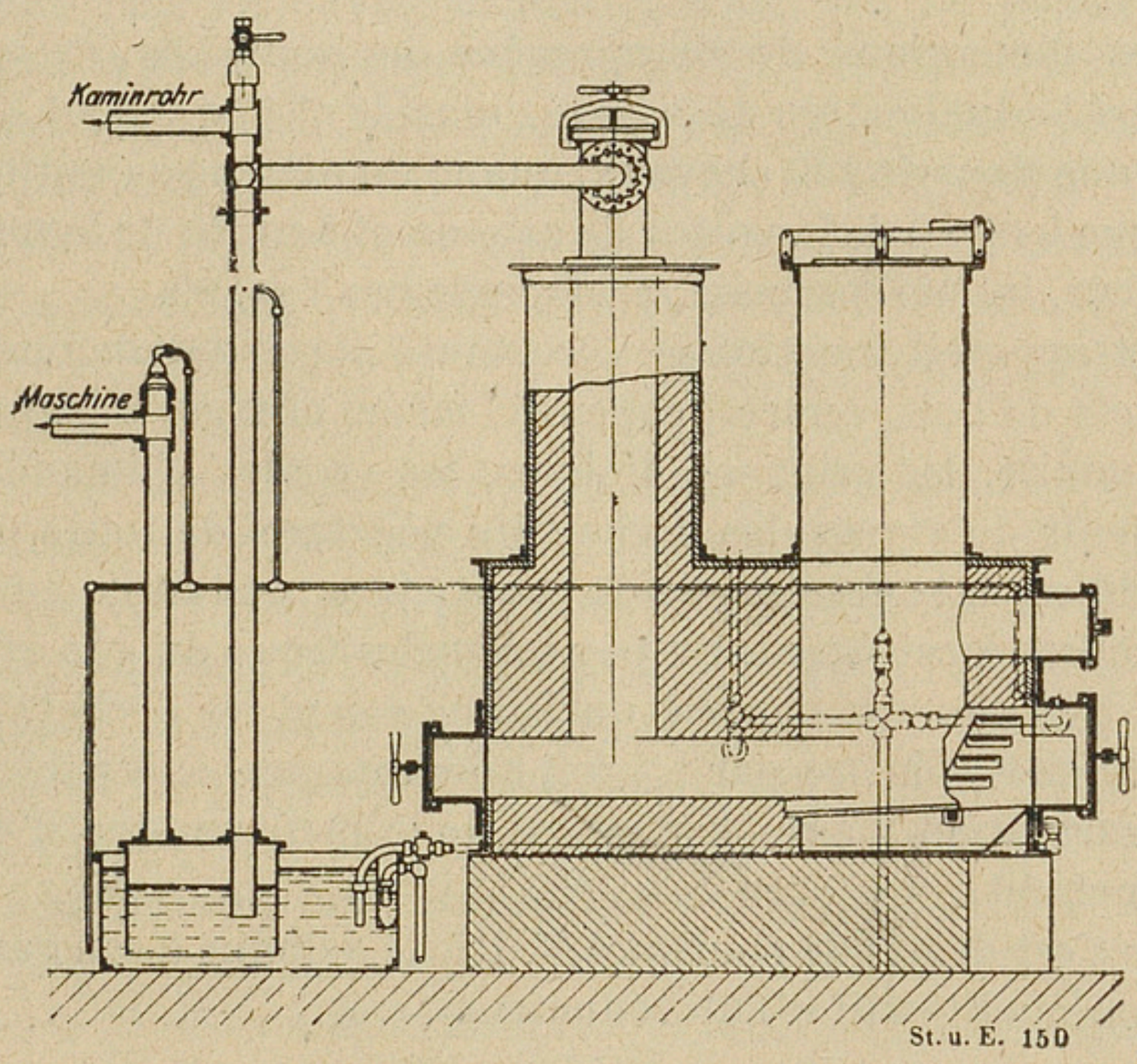


Fig. 70. — Gazogène Riché.

Le fonctionnement est dès lors le suivant : on charge la première cuve du combustible à brûler ; il en sort un mélange de gaz combustibles et de vapeur d'eau, qui continue sa combustion dans la colonne de réduction et y entretient la température qu'il faut pour y assurer la dissociation des produits de la distillation.

Quand on traite du bois, il est inutile d'introduire de l'eau dans le foyer ; pour d'autres matières que le bois, on fait arriver un mince filet d'eau sur les barreaux de la grille du foyer. On réalise ainsi une marche continue et le gaz engendré présente une constance suffisante de composition, à condition que la colonne

de combustion garde sa température élevée, ce qui est le point délicat de la question. On dispose généralement une cloche de gazomètre sur la conduite menant les gaz aux moteurs ou bien aux fours d'utilisation.

On fait ressortir que la combustion opérée horizontalement, sous faible épaisseur, empêche la formation de mâchefers de forte dimension ; on revendique aussi les facilités de décrassage de la grille.

Les dimensions de ce gazogène ne sont pas excessives, malgré la duplication de la cuve ; ainsi le nº 8, qui peut alimenter un moteur de 300 chevaux, quand on marche à l'anthracite, n'a que 4 m. 20 de longueur de caisson et 2 m. 80 de largeur ; la hauteur, trémie comprise, ne dépasse pas 1 m. 60.

Cet appareil fonctionne avec toute sorte de combustibles, déchets de bois, sciures, copeaux, même chargés de 50 p. 100 d'humidité, les grignons d'olives, les écorces d'amandes, les sarments de vignes, les déchets de végétaux de toute nature, les pailles, et la Compagnie du gaz Riché a produit de curieuses références à cet égard. Le pouvoir calorifique du gaz est celui d'un très bon gaz pauvre, quels que soient les déchets ; on a fait le cheval-heure par 1,5 à 2 kilogrammes, suivant le degré d'humectation. Le rendement est donc meilleur que d'aucuns ne l'ont dit.

On s'est demandé pourquoi M. Riché a donné à son gazogène le nom qualificatif d'autoréducteur ?

VII. — GAZOGÈNES A TIRAGE RENVERSÉ

Dans les gazogènes à deux cuves, la transformation des goudrons en gaz permanents s'opère par la traversée d'une colonne de coke au rouge, à la faveur de sa haute température et d'une atmosphère oxydante.

Un inventeur, je ne sais lequel, se dit un jour que le coke au rouge, destructeur du goudron, peut se rencontrer dans le combustible lui-même, qui brûle dans la cuve de gazéification et que pas n'est besoin de recourir à une cuve supplémentaire pour obtenir les phénomènes de réduction cherchés. Ce jour-là fut

faite, non pas une invention sensationnelle, mais une observation judicieuse, dont a tiré quelquefois un bon parti.

On appelle souvent les appareils constitués d'après cette idée des gazogènes à combustion renversée ; ce n'est pas la combustion qui est renversée, mais le mouvement des gaz et le sens du tirage.

Réservons le nom de tirage direct à celui qui se fait habituellement dans les cuves, depuis la grille, par où pénètre l'air, jusqu'à la partie supérieure, d'où partent les gaz vers les points de leur utilisation. Ces gaz ont traversé des couches de charbon porté à l'incandescence ; ils y ont pris une température élevée ; puis ils ont rencontré en montant des couches de combustible fraîchement chargé, dont ils ont provoqué la distillation et auquel ils ont pris des produits volatils, qu'ils ont entraînés dans leur courant.

Ils sont donc porteurs de goudrons ; c'est ce qu'on voudrait empêcher, dans l'alimentation des moteurs.

A cet effet, on peut procéder de plusieurs façons : 1° faire partir les gaz de la région rouge, où les gaz ne renferment pas de goudrons et où ils ne rencontrent plus de charbon frais ; 2° aspirer les produits de distillation, formés à la partie haute de la cuve, et les ramener dans le feu ; 3° intervertir entièrement le courant, faire entrer l'air par le haut et sortir les gaz par le bas ; en un mot, renverser totalement le tirage.

Ces trois méthodes conduisent au résultat cherché, qui est de transformer les goudrons, à condition toutefois que soit réalisée l'atmosphère oxydante indispensable à la réduction, ainsi que je viens de le dire et que je ne saurais trop le rappeler.

On se débarrasse donc des goudrons, c'est entendu ; mais que sacrifie-t-on pour cela ?

Le renversement du tirage a pour conséquence d'encombrer de cendres la partie basse de la cuve ; les gaz entraînent des cendres avec eux ; les cendres se mêlent d'escarbilles et d'inbrûlés, qui n'ont plus reçu assez d'oxygène : ce sont des inconvénients assez sérieux, qui viennent compenser les avantages que procure la réduction des goudrons par le tirage renversé. Il faut que le charbon donne beaucoup de goudron et que les moteurs en tolèrent bien peu pour que le renversement soit

vraiment favorable. Il ne fait rien gagner sur le rendement, au contraire ; il simplifie l'épuration, pour ce qui est des goudrons, et la complique pour ce qui est des poussières ; en d'autres termes, épuration chimique facilitée, épuration physique rendue plus nécessaire. S'il reste quelque bénéfice, ce n'est que pour l'alimentation des moteurs.

Ce n'était assurément pas la peine de changer de gouverne-

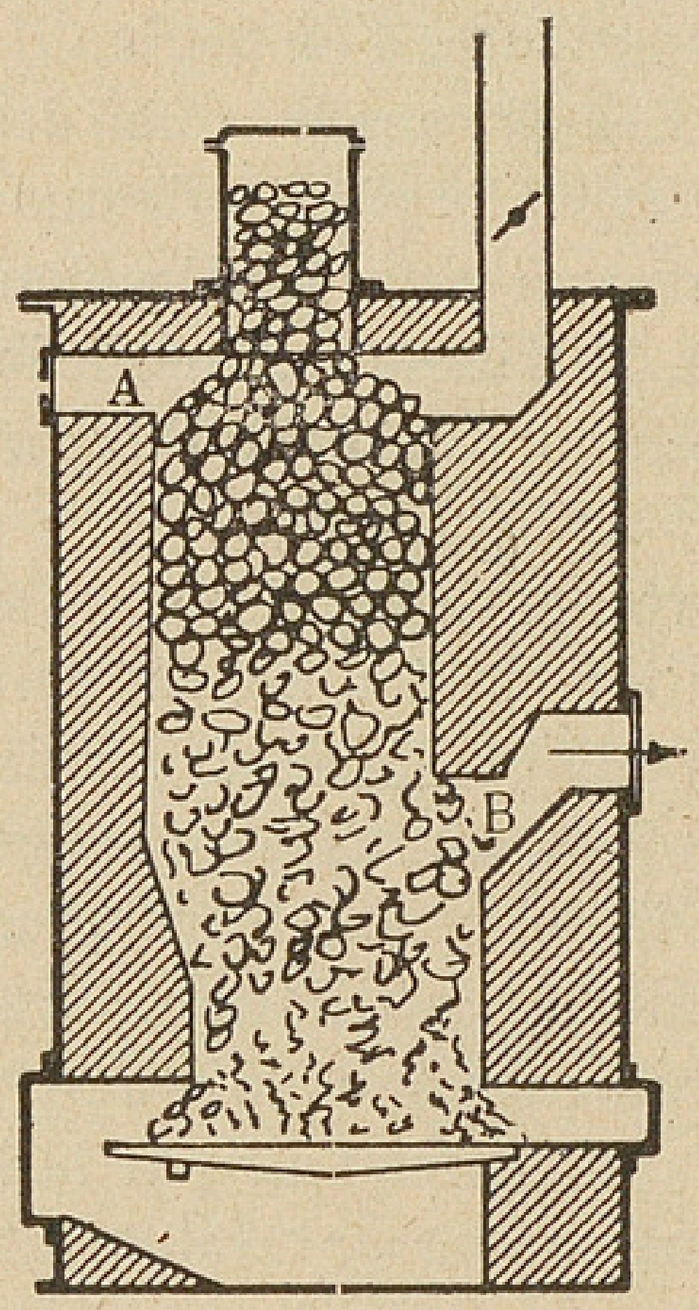


Fig. 71. — Gazogène Kœrting.

ment... du feu, diront les esprits satiriques ; la satire est quelquefois l'expression de la vérité. Il ne faut néanmoins pas exagérer la critique. Je me contenterai de dire que le tirage renversé ne mérite pas tous les éloges qu'on lui a prodigués.

1. **Gazogène Kœrting.** — La prise de gaz se fait en B, à mi-hauteur de cuve. L'appareil est donc à tirage direct pour la partie inférieure, à tirage renversé pour la partie haute, puisqu'une entrée d'air complémentaire a lieu par A (fig. 71).

Le dispositif est simple et rationnel ; si l'air complémentaire était réchauffé. on obtiendrait sans doute d'excellents résultats.

Il y a seulement à craindre que le gaz ne renferme une certaine proportion de CO^2, qui n'a pas trouvé assez de carbone rouge pour se réduire.

2. **Gazogène Pintsch.** — Encore une prise vers le milieu de la cuve, sous une tuile renversée en matériaux réfractaires, par F (fig. 72).

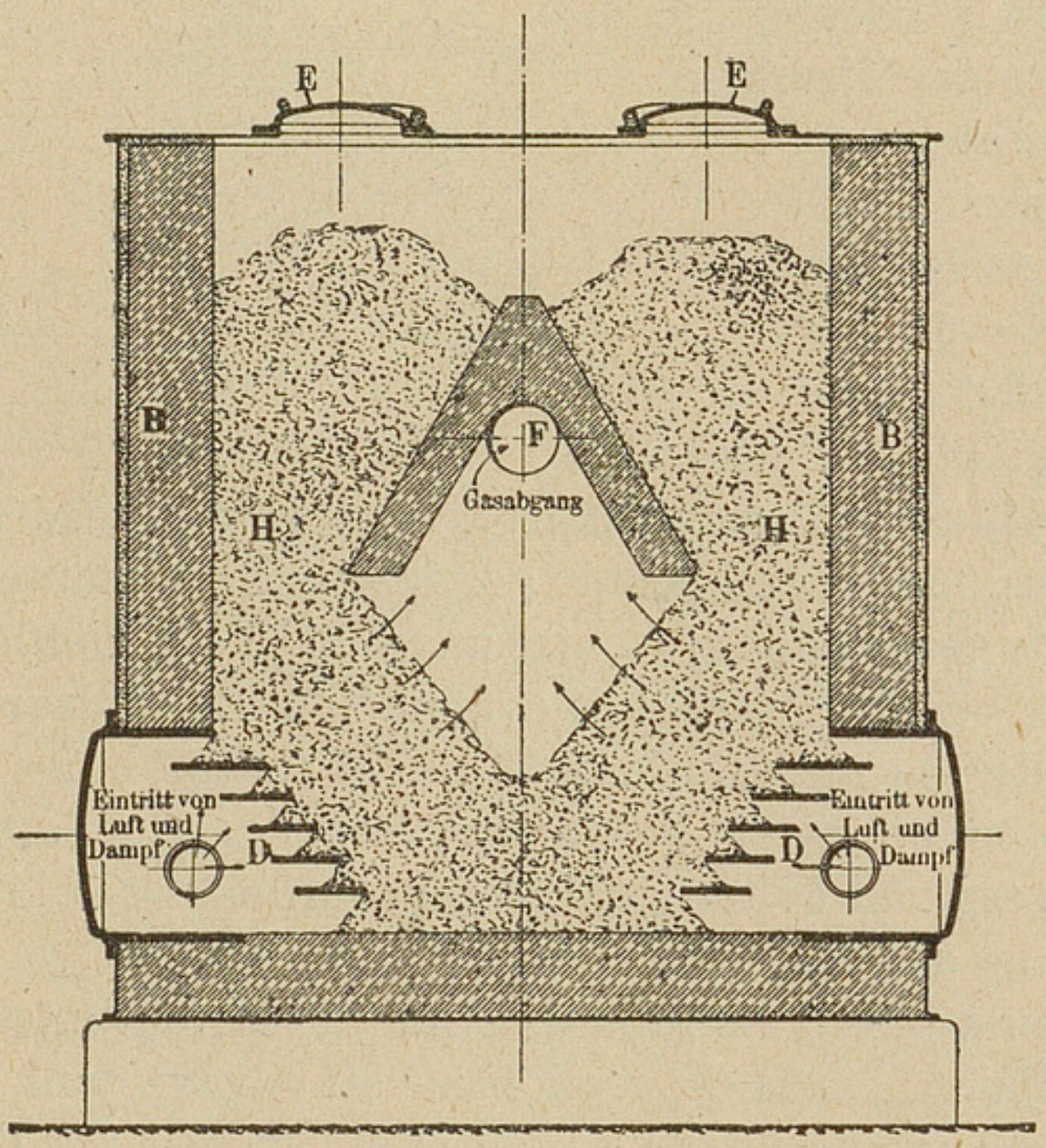


Fig. 72. — Gazogène Pintsch.

Le charbon est chargé par deux trémies ; l'air arrive par deux conduites D sous une grille à gradins. Il serait désirable de ménager par le haut une double entrée d'air chaud.

On peut s'inquiéter du sort de la tuile qui recouvre la sortie F ; ses jours doivent être comptés, lorsque les feux sont poussés. Aussi a-t-on fait de ce chapeau une chaudière, ayant la même forme, distribuant de la vapeur dans les masses H de droite et de gauche.

3. **Gazogènes Letombe.** — Letombe a donné le nom de gazo-

gènes *à combustion partielle préalable* aux appareils dans lesquels il a cherché à recueillir les avantages du tirage renversé, en évitant les inconvénients qu'il comporte.

Son premier dispositif de la figure 73 se compose de deux cuves superposées, avec prise de gaz au sommet de la cuve inférieure.

Voici d'abord la légende explicative du dessin :

a. Cuve inférieure.
b. Cuve supérieure.
i. Aspirateur.
d. Foyer.
g. Air secondaire.
y. Sortie du gaz.
l. Barillet laveur.
n. Régulateur d'aspiration.

Un ventilateur, aspirant dans le haut de la cuve, dérive vers la partie supérieure un peu du gaz fabriqué. En montant, cette portion de gaz chauds rencontre une veine d'air, soufflée, réglée suivant le besoin, assurant sa combustion. La chaleur dégagée fait distiller le combustible fraîchement chargé, et les matières volatiles commencent à être oxydées dès leur apparition. Letombe espérait éviter ainsi le boursoufflement de la masse et assurer une descente normale.

Tout en aspirant les produits volatils, le ventilateur aspire aussi de l'air ; le mélange ainsi formé est envoyé dans le foyer, où il brûle en même temps que le coke arrive dans le bas de l'appareil. Si le charbon ne renferme pas trop de matières volatiles, on humidifie l'air insufflé par une pulvérisation d'eau. La production du gaz se règle automatiquement par un régulateur à cloche équilibrée, qui agit par des tringles *p k* sur des papillons qui obturent l'aspiration d'air en 5 et celle des produits volatils en *j*.

Un deuxième dispositif (figure 74) réalise plus entièrement le renversement du tirage.

a. Cuve.
i. Aspirateur.
t. Tuyau central.
s. Chargeur.

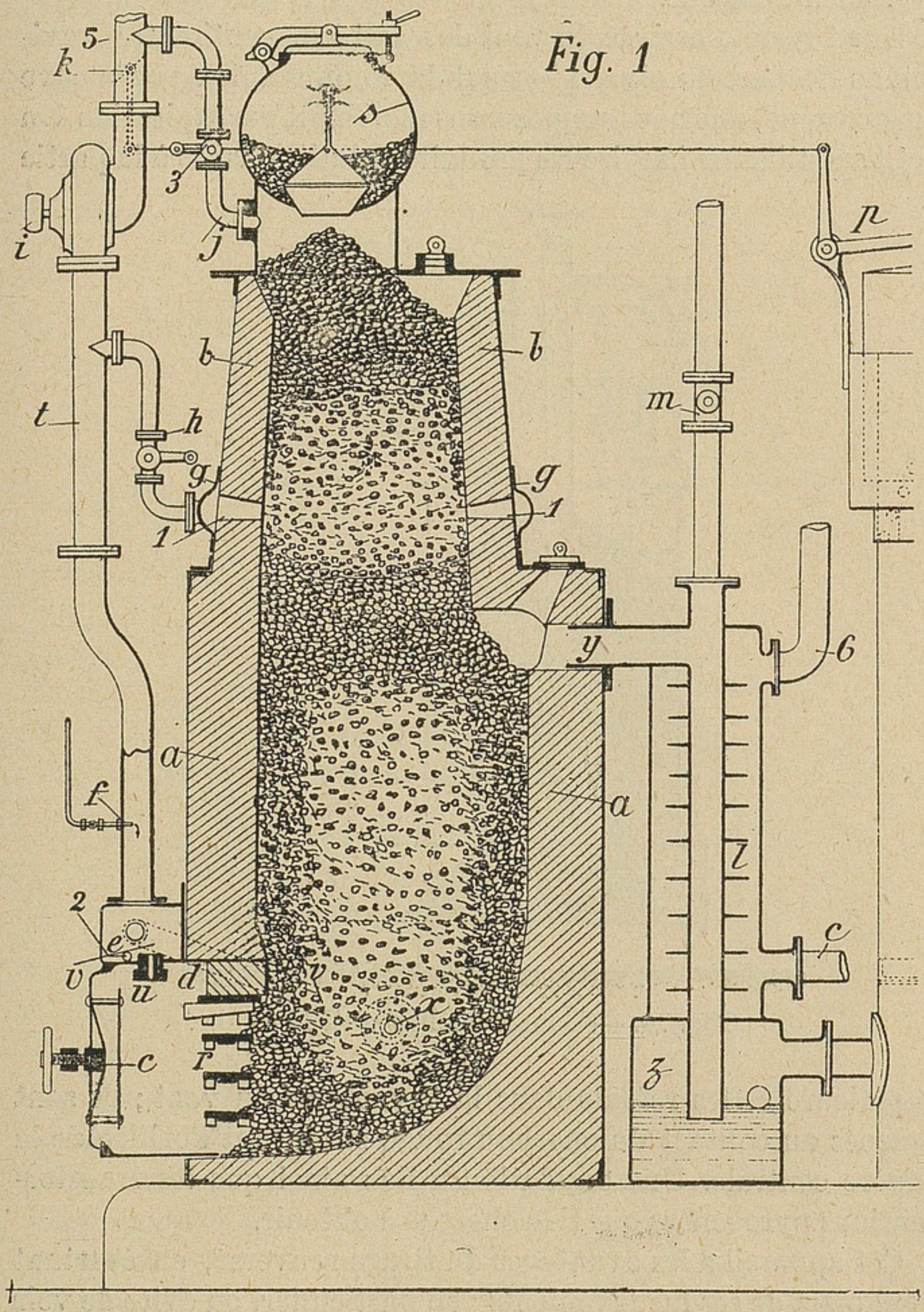


Fig. 1

Fig. 73. — Gazogène Letombe à combustion partielle préalable.

p. Portes de décrassage.

o. Sorties du gaz.

Une tuyère d'arrivée du vent descend à 50 centimètres environ en dessous du niveau normal du combustible dans la cuve du gazogène, que nous supposerons marchant par aspiration. Un petit ventilateur *j* aspire les produits volatils formés à la partie

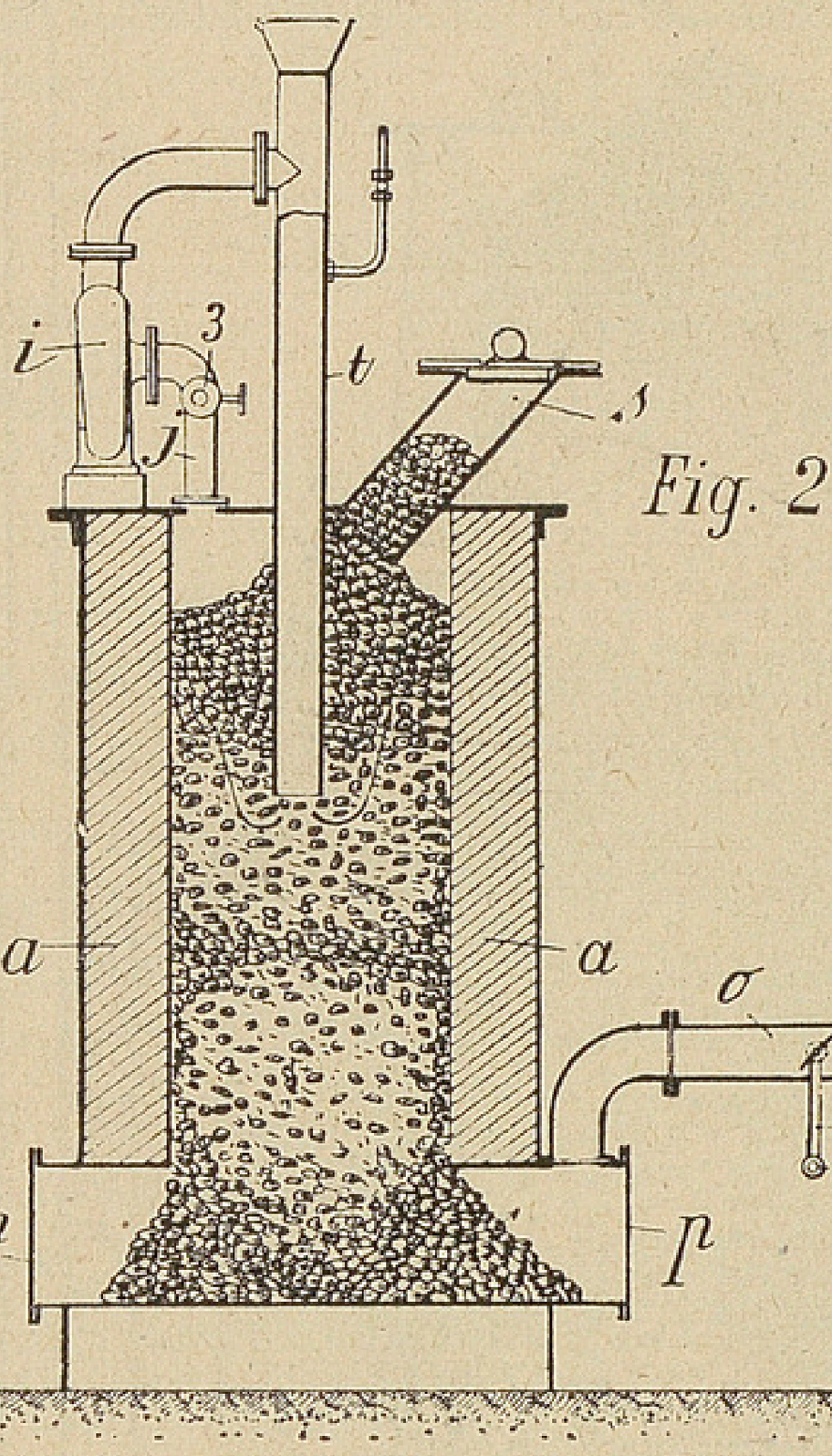


Fig. 74. — Deuxième dispositif Letombe.

supérieure et les refoule dans la tuyauterie du vent ; ils sont amenés au contact du charbon rouge entourant l'orifice de la tuyère centrale. Une oxydation a lieu ainsi que les transformations pyrogénées que l'on cherche à obtenir.

Cet appareil a les avantages du tirage renversé, en écartant la plupart de ses inconvénients ; en particulier, on évite de voir le feu se localiser dans le bas.

Letombe n'était jamais en peine d'inventer. Il a imaginé un troisième dispositif, celui de la figure 75 auquel on ne peut refuser le mérite d'une certaine originalité.

La cuve du gazogène est surmontée d'un foyer à grille inclinée, muni d'une trémie de chargement *t* ; le charbon déversé sur la grille s'écoule par un talus d'éboulement dans la cuve : l'air est introduit sous les barreaux par un orifice visible sur le dessin.

Le foyer étant allumé, les matières volatiles distillent et

Fig. 3

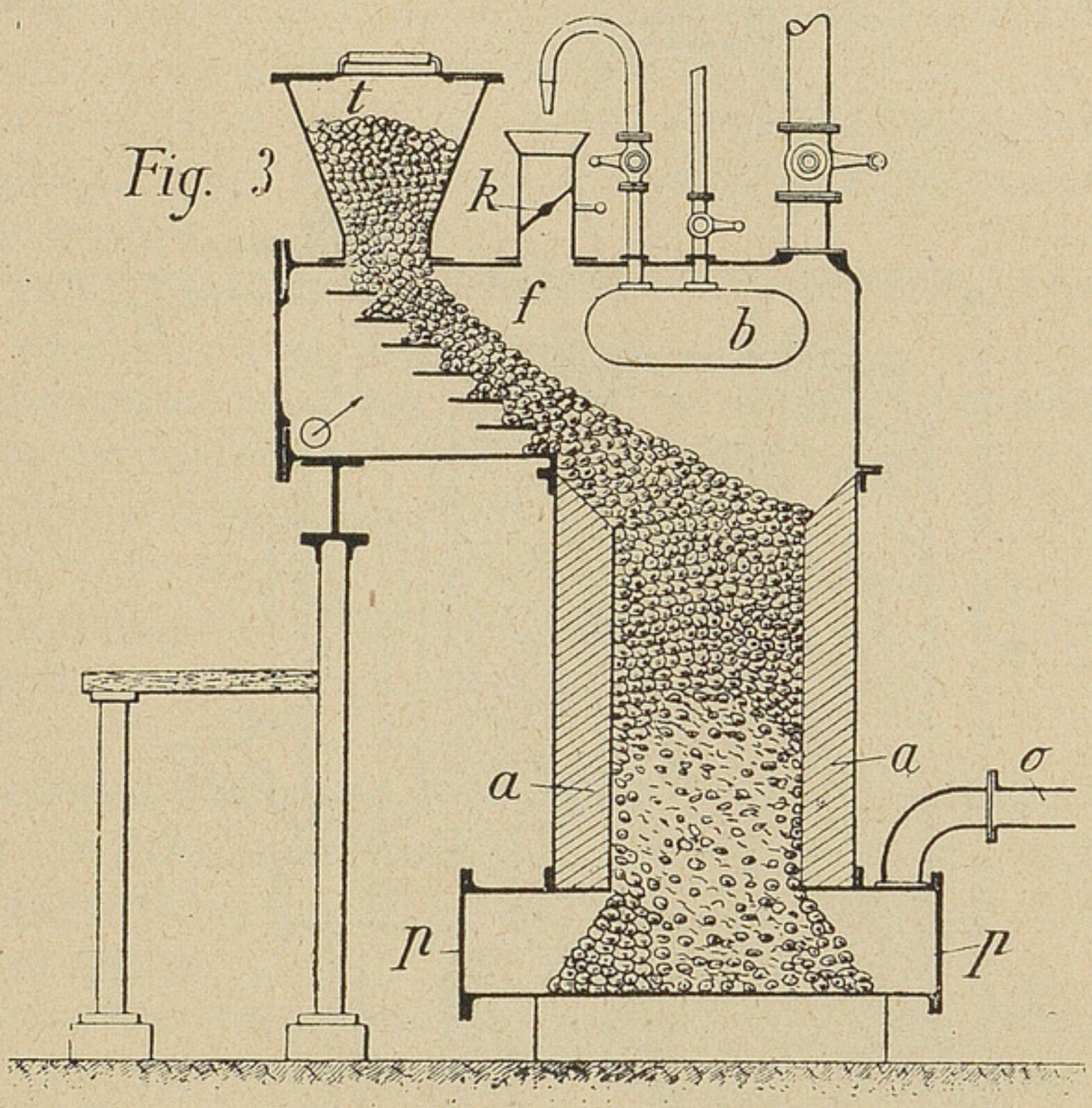


Fig. 75. — Troisième dispositif Letombe.

brûlent avant de passer à travers la colonne incandescente, qui remplit la cuve : au fur et à mesure que le niveau baisse dans cette cuve, la grille se dégarnit par éboulement. Les cendres s'accumulent à la partie inférieure ; on les retire par les portes *p*.

Une chaudière *b* fournit la vapeur nécessaire ; l'air aspiré entre par *k*.

Je ne sais si ces trois dispositifs de Letombe ont été construits ; il se pourrait qu'ils n'eussent pas été réalisés : j'aurais donc pu les passer sous silence. Mais j'ai cru devoir les mention-

ner pour faire voir de combien de manières diverses le tirage renversé peut être pratiqué. Il n'est pas étonnant que tant d'inventeurs aient proposé un type. On s'étonnerait à bon droit de me les voir décrire tous.

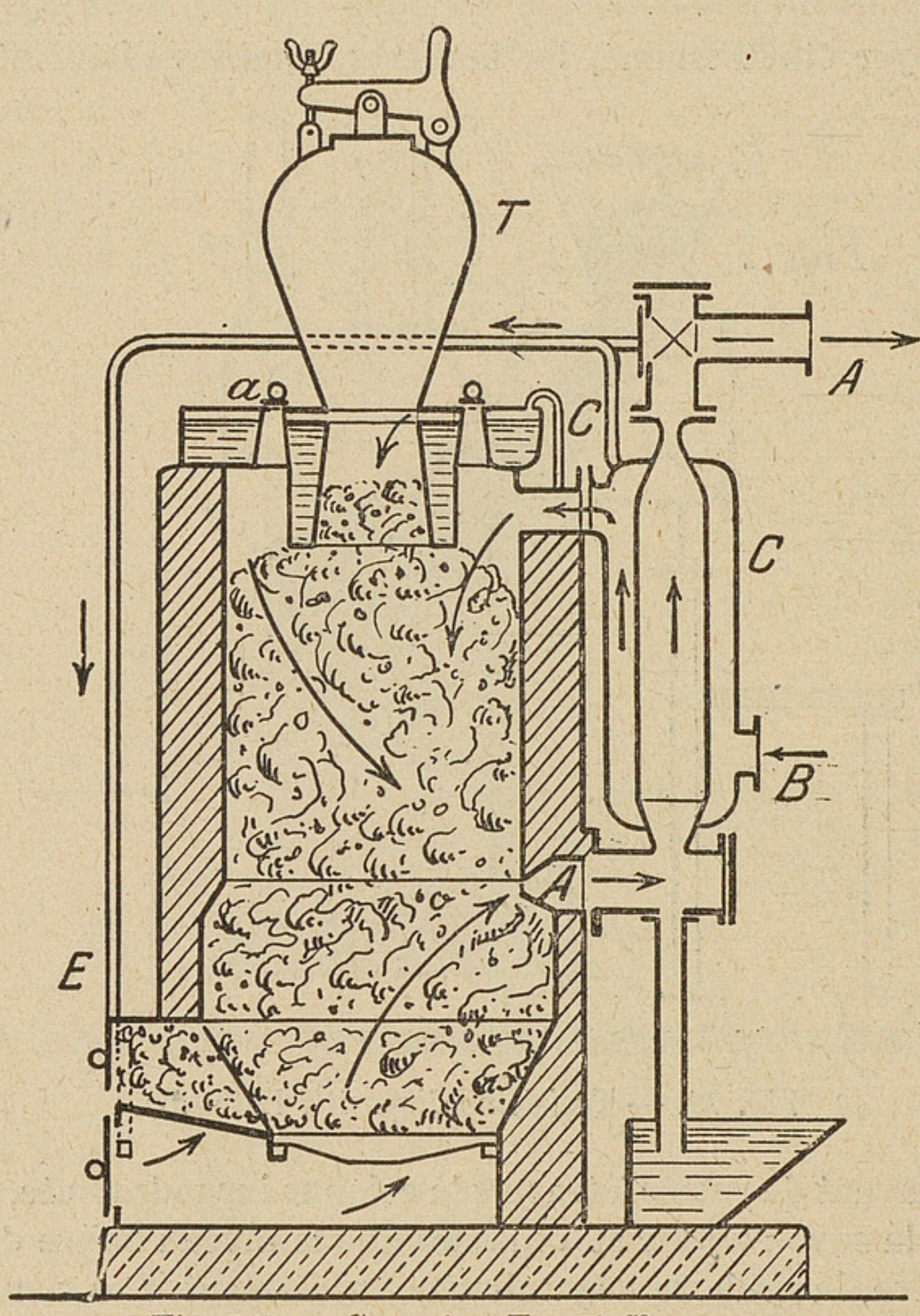


Fig. 76. — Gazogène Faugé-Chavanon.

4. **Gazogène Faugé-Chavanon.** — Le tirage renversé prêtait le flanc, avons-nous dit, à une sérieuse objection : les cendres renferment beaucoup d'escarbilles cokifiées, mais non brûlées, et le rendement en souffre. On a cherché à corriger ce défaut, en faisant résolument un double tirage, direct par le bas, ren-

versé par le haut. Dans ce but, on fournissait de l'air sous la grille et par un orifice supérieur, logé contre la trémie.

Le brevet Faugé-Chavanon réalise cette idée.

La cuve de cet appareil (fig. 76) est cylindrique, mais elle présente toutefois un diamètre un peu plus grand dans sa partie inférieure ; la prise de gaz A s'effectue à la partie moyenne. Le creuset est légèrement conique, en vue d'empêcher la descente d'éléments ayant échappé à la combustion.

L'air servi par le dessus est chauffé à sa traversée des tubes concentriques C ; il vient par cette voie en quantité moindre que par la grille.

Les autres détails se comprennent par le seul examen de la figure, sans nécessiter d'autre explication.

Dans quelques appareils, on soutire les scories et les cendres du foyer par une vis hélicoïdale, qui les fait tomber dans une fosse à fermeture hydraulique.

On arrête les poussières par une colonne sèche à coke.

Une installation au bois a donné de bons résultats, en fournissant du gaz d'un pouvoir moyen de 1.050 calories.

5. **Gazogène Fornas.** — M. Fornas est déjà un ancien constructeur de gazogènes, que son expérience a conduit à son tour au tirage renversé, qui a conquis tant d'adeptes au cours des dernières années.

Le tirage renversé cache, sous une apparence très logique, des écueils qui n'ont pas toujours été évités et que je viens de signaler.

Il en est dont on ne s'est pas toujours suffisamment méfié. Par suite de l'aspiration et de l'action de la pesanteur, le charbon brûlé et les scories se tassent au bas de la cuve et bouchent le passage des gaz. M. Fornas a constaté que l'on évitait cette obstruction en donnant au foyer une section suffisante et calculée rationnellement par rapport à celle du chargeur. D'autre part, il injectait d'abord de la vapeur dans le cendrier, et il s'est bien trouvé, dit-il, d'y renoncer.

Son gazogène (fig. 77) est surmonté d'un chargeur ; il est très haut,et reçoit du combustible pour plusieurs heures de fonctionnement ; sa partie inférieure forme un sécheur très utile quand

on traite des charbons humides ou des bois verts. Le foyer est suspendu par sa partie supérieure à l'intérieur de la cuve cylindrique en tôle ; dans l'intervalle laissé libre entre sa garniture réfractaire et la paroi externe est placée la chaudière. L'air admis par le haut descend à travers la zone de feu et se relève en traversant ce couloir annulaire, pour gagner la sortie du gaz. Le cendrier, de grande capacité, recueille les cendres accu-

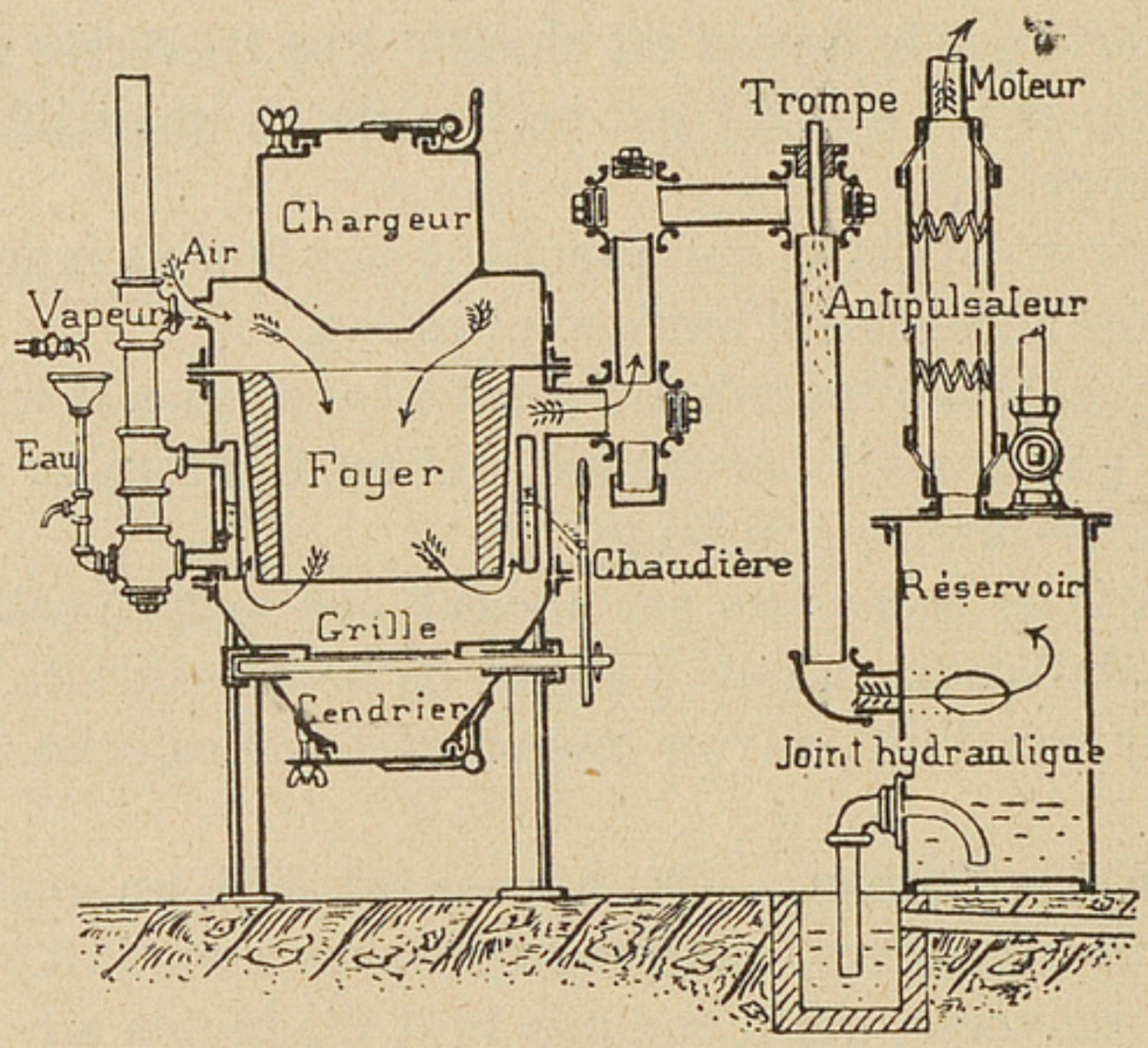


Fig. 77. — Gazogène Fornas.

mulées en marche. La grille est oscillante ; la rotation d'un rouleau à griffes la fait mouvoir et fait détacher les scories qui pourraient y adhérer. Quelquefois la grille est fixe et formée simplement d'une plaque pleine.

Le laveur est constitué par un tube vertical, surmonté d'une trompe à eau, qui d'une part aspire les gaz et d'autre part les arrose d'eau : cet appareil suffit, dit-on, pour laver et épurer le gaz.

Le gazogène Fornas se prête excellemment à l'emploi du bois, et dans ce cas, il exige une très faible surveillance, en donnant continûment de bon gaz.

VIII. — GAZOGÈNES A RÉCUPÉRATION COMPLÈTE

Dans ces gazogènes, dont j'ai déjà parlé, il semblerait que l'objectif principal ne soit plus de fabriquer du gaz, mais de recueillir surtout les goudrons et les eaux ammoniacales, fournis par le traitement de charbons gras et bitumineux : le gaz deviendrait ainsi un sous-produit de l'opération. Celle-ci peut devenir extrêmement productive, étant donnée la grande valeur des hydrocarbures et des composés nitreux, que l'on recueille en travaillant des houilles qui se prêtent mal à la combustion sur grille et qu'on ne paie pas cher, à cause de cela.

L'innovation remonte assez loin déjà ; c'est en effet en 1879 que le docteur Mond a commencé ses recherches. Le projet était hérissé de difficultés, car on sait que les charbons gras distillent d'énormes quantités de goudrons qui obstruent les canalisations et donnent beaucoup d'ennuis, quand on veut utiliser directement les gaz en moteurs. D'ailleurs, ces charbons s'agglutinent dans les cuves, se collent et forment des voûtes, que le ringard a peine à rompre, et qui opposent au passage de l'air une résistance insurmontable. L'acide carbonique ne se réduit plus et le feu meurt, si l'on n'y veille de très près.

L'allure froide était indiquée pour la gazéification de tels charbons ; elle s'imposait du reste aussi pour ne pas décomposer les produits ammoniacaux que l'on voulait récupérer.

Mond a trouvé la solution du problème en abaissant la température de la cuve par un afflux énorme de vapeur d'eau, laquelle est en quantité trop considérable pour se dissocier. Elle traverse en majeure partie le gazogène avec les gaz ; ce qui passe de la sorte se condense à la sortie, et restitue son calorique à l'air qu'on insuffle, en élevant sa température assez haut pour que le feu ne s'éteigne pas.

Cette industrie de la gazéification avec récupération complète a pris naissance dans l'usine chimique de MM. Brunner, Mond et Cº à Northwich (Cheshire) ; elle y a pris un grand développement.

1. **Gazogène Mond.** — Cet appareil ne présente rien de bien particulier au point de vue strict de la gazéification : il est représenté par la figure 78. La cuve est cylindrique, en tôle de fer, revêtue intérieurement d'une chemise réfractaire ; l'interalle forme double paroi. Celle-ci est traversée par l'air et la vapeur, sous une forte pression d'au moins 30 centimètres d'eau ; le mélange, déjà chauffé par un régénérateur antérieur, se surchauffe dans l'enveloppe D et arrive donc très chaud à la grille. Celle-ci est formée de barreaux horizontaux, dessinant une surface conique ; ils sont accrochés par leur partie supérieure à une couronne circulaire, et sont assez libres pour pouvoir être secoués sans difficulté. Les cendres tombent dans le cendrier C, plein d'eau, constituant une fermeture hydraulique.

Le charbon est chargé sous forme assez menue, par la trémie T ; il remplit presqu'en totalité la cloche conique qui lui fait suite. Il y séjourne en subissant une première distillation ; les vapeurs condensables se dirigent aussitôt vers la prise A.

Des dispositions sont prises pour prévenir les accrochages ; la cuve est très large, cylindrique, et les regards *a* sont multipliés de manière à faciliter le travail du ringard.

Ces appareils présentent de très grandes dimensions.

La vapeur, dont ils consomment une forte quantité, est fournie par les machines à vapeur de l'établissement qui marchent toutes à échappement libre ; on ne peut dire qu'elle ne coûte rien, mais elle ne coûte pas cher. On arrive à user 2.500 kilogrammes de vapeur par tonne de houille ; mais on en condense 1.500 kilogrammes dans les appareils de récupération.

Celle-ci s'effectue dans une suite importante de caisses, de colonnes, de tours qui forment une véritable usine : sans vouloir entrer dans trop de détails, disons seulement que les gaz sont reçus dans des régénérateurs à circulation méthodique (gas coolers and air heaters), des laveurs mécaniques à roues et à balais tournants (mechanical washers), des tours à injection d'eau acide et à chicanes (lead acid tower, cold water tower), qui arrêtent les hydrocarbures condensables et les produits ammoniacaux. On recueille près de 40 kilogrammes de ces derniers par tonne de houille.

A l'usine de Winnington, des moteurs Crossley sont alimen-

tés par les gaz ; malgré leur richesse en hydrogène, les moteurs s'en accommodent sans peine, et l'on obtient finalement le kilowatt-heure par 992 grammes de charbon bitumineux.

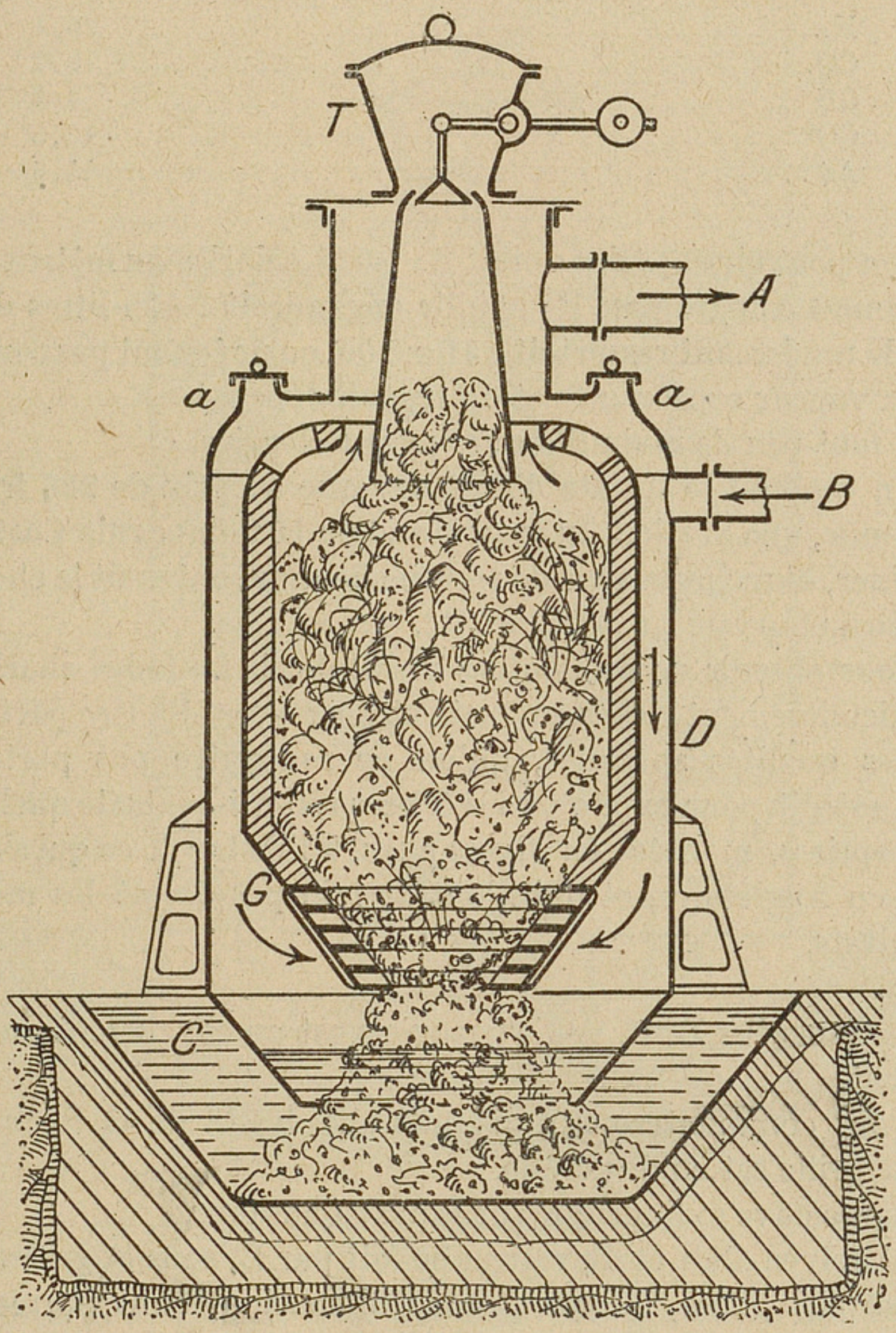


Fig. 78. — Gazogène Mond.

M. Humphrey a publié en 1895 des résultats d'essais faits avec une houille renfermant 68 de C, 7,5 de cendres, 7,3 d'eau

hygroscopique et le reste, soit 17,2 de matières volatiles : son pouvoir supérieur était de 7.225 calories. Le gaz avait la composition que voici, en volume :

H	26,4
CO	10,2
CH^4	2,5
CO^2	16,3
Az	44,6

Son pouvoir supérieur était de 1.320 calories au mètre cube. Comme 1 kilogramme de houille engendrait 2.430 litres de ce gaz le rendement ressortait à 81 p. 100, en ne tenant pas compte de la vapeur consommée et du travail dépensé.

Il faut peu de main-d'œuvre pour le service.

En vendant le sulfate d'ammoniaque au prix de 250 francs la tonne, une station du type Mond de la Compagnie Castner-Kellner, d'une puissance de 10.000 chevaux, obtenait le cheval-heure au taux de 2,6 centimes (1).

Pour obtenir de semblables résultats, il faut des charbons particulièrement riches en azote et possédant d'autre part certaines qualités spéciales, qu'on ne rencontre pas partout ; cela est dit pour expliquer les échecs retentissants de quelques entreprises, montées en divers pays, à l'instar de ce qui s'était fait en Angleterre, et qui n'ont de loin pas donné les mêmes résultats.

2. **Gazogène Duff.** — Ce gazogène est un concurrent du précédent.

Nous commenterons rapidement le dessin de la figure 80.

La grille est en dos d'âne.

Large cuve cylindrique sur toute sa hauteur.

L'arrivée d'air et de vapeur se fait par B, sous la grille.

Ces gazogènes, de très grande dimension, sont surmontés de larges trémies en entonnoirs, où le charbon est monté mécaniquement.

---

(1) Un prospectus annonce que la puissance totale des gazogènes Mond est voisine de 500.000 chevaux.

Les gaz produits sont évacués par l'ouverture A, placée vers les deux tiers de la hauteur ; on ramène quelquefois une fraction des gaz sous la grille, à l'aide d'un injecteur à vapeur.

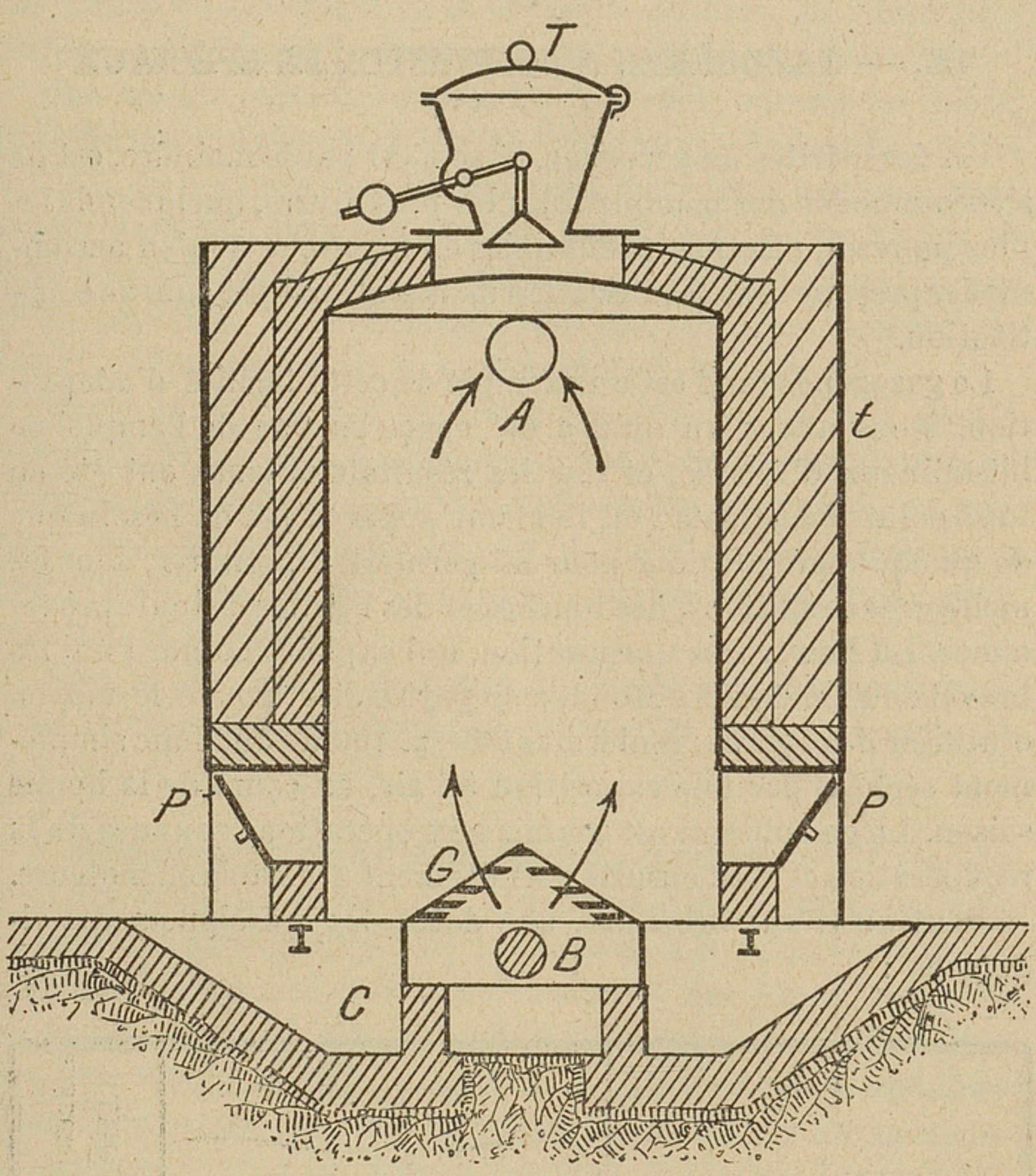


Fig. 79. — Gazogène Duff.

Un gazogène Duff peut gazéifier 800 grammes de charbon par décimètre carré de section de cuve en une heure.

Les appareils de récupération ne sont pas sans analogie avec ceux de Mond.

De puissantes installations ont été faites à Widness, pour l'United Alkali Cº Ld ; à Manchester, pour MM. Armstrong ; à

Glasgow pour les Aciéries Parkhead ; on a aussi appliqué le gazogène Duff en Allemagne, avec du charbon gras de Dortmund.

IX. — GAZOGÈNES A COMBUSTIBLES SPÉCIAUX

Un des mérites du gazogène, et ce n'est pas le moindre, est de s'accommoder des combustibles les plus divers, quelquefois les plus pauvres, presque inutilisables en foyers, et de s'en accommoder presque sans modification dans ses formes et dans sa constitution.

Le gazogène Mond est un exemple de cette facilité d'adaptation. Nous avons vu qu'il a été conçu en vue de l'emploi de bitumineux d'Ecosse, et que les résultats obtenus ont été en tous points excellents ; or, le même appareil n'a eu besoin que de quelques adaptations pour lui permettre de traiter, dans les meilleures conditions, des tourbes et des lignites de toute provenance. La Power Gas Corporation, qui exploite aujourd'hui les brevets du Docteur L. Mond, a en particulier trouvé le moyen d'utiliser des tourbes renfermant 60 p. 100 d'eau, donc simplement séchées par une exposition à l'air, au cours de la bonne saison. Le gaz obtenu est soumis aux opérations connues de la récupération et il est ensuite parfaitement utilisable en moteurs.

J'extrais d'une brochure, non datée, les renseignements ci-dessous :

	TOURBE			LIGNITE
	d'Allemagne	d'Italie	d'Angleterre	d'Allemagne
Teneur en humidité p. 100	40 à 60	15	57,5	57,5
— en azote (p. 100)..	1	1,58	2,3	0,7
Gaz par tonne de produit sec (mètres cubes).....	2.400	1.700	2.550	2.830
Pouvoir calorifique (cal.) .	1.335	1.177	1.201	1.335
Sulfate d'ammoniaque par tonne de produit sec (kgr)	31,5	52	97	18

En plus du sulfate d'ammoniaque, on récupère des acétates de soude et de chaux, de l'acétone, de l'esprit de bois, des goudrons, etc. Ces goudrons donnent de l'huile pour moteur Diesel, des huiles de graissage, de la créosote, du brai, etc., tous produits qui rendent le traitement extrêmement rémunérateur.

Une grande centrale montée à Osnabrück, sur une tourbière, gazéifie par vingt-quatre heures 210 tonnes de tourbe séchée à l'air ; on actionne par les gaz trois moteurs d'une puissance totale de 3.500 chevaux et l'on distribue le courant dans un rayon de 40 kilomètres. A Orentano, en Italie, une autre centrale travaille journellement 100 tonnes. Une filature de Moscou alimentait ainsi un moteur de 300 chevaux (1).

On est en voie de réaliser par le gazogène ce qu'on a appelé l'électrification des tourbières, c'est-à-dire l'installation de centrales électriques au milieu d'un champ de tourbe ; on rendrait ainsi à l'agriculture en peu d'années un sol marécageux et l'on assainirait les régions environnantes. Ce sera un nouveau bienfait du gazogène.

Nous allons décrire quelques appareils, spécialement créés pour l'utilisation des charbons pauvres et des succédanés de la houille.

1. **Gazogène Letombe pour charbon cendreux.** — Letombe s'est vivement préoccupé de l'utilisation des charbons maigres renfermant plus de 20 p. 100 de cendres, tels qu'en fournissent certaines mines de l'Ouest, du Centre et des Alpes, auxquels on donne quelquefois le nom de houille grise, à cause de leur couleur. Ces combustibles sont très difficilement acceptables pour l'usage des chaudières, même avec des grilles spéciales et en tirage soufflé. Sont de la même espèce les petits grésillons des usines à gaz, les déchets de four à coke, le fraisil des boîtes à fumée des locomotives, les escaillages de mines, les résidus de lavoir et les schlams desséchés. Or, Letombe a pu en tirer parti,

---

(1) Il est juste de signaler qu'à la poudrerie nationale de Pont de Briis (Finistère), des chargeurs Godillot ont aussi permis de brûler sous chaudières les produits d'une tourbière drainée renfermant 40 p. 100 d'eau : il faudrait pouvoir comparer les résultats ainsi obtenus avec ceux que donne le traitement en gazogène.

à l'aide de dispositifs dans lesquels s'est révélé son esprit inventif et son labeur inlassable.

Son gazogène est à cuve cylindrique sans grille (figure 81).

En face de deux ouvertures opposées, fermées par des portes, se trouve une série de barreaux plats placés verticalement, au-dessus les uns des autres, et complètement amovibles sur supports. On peut les avancer à volonté, les reculer ou bien les enlever. Ces barreaux forment un barrage, empêchant l'éboulement du combustible. Le fond du foyer est constitué par une fausse sole, formée de plaques réfractaires, supportées par des tasseaux de même matière.

Au niveau de cette fausse sole débouchent 4 tuyères, disposées deux par deux perpendiculairment aux portes. Elles distribuent le vent dans la masse incandescente, mais en évitant d'en trop donner au-dessus des portes. Ces tuyères n'arrivent pas dans le foyer ; elles sont protégées par des briques en demi-voûte dans l'orifice desquelles elle pénètrent librement. L'air soufflé est humidifié par une pulvérisation d'eau chaude effectuée dans la conduite même du vent ; cette eau est chauffée dans une double enveloppe du tuyau de départ des gaz.

Lorsque les scories formées tendent à boucher les orifices des tuyères, on passe un ringard à travers le feu.

Pour les décrassages périodiques, il faut arrêter le vent et ouvrir la cheminée en même temps qu'on ouvre les portes. Au ringard, on détache les scories inférieures du pourtour du foyer, et on les retire avec un crochet ; on peut, pour faciliter le travail, enlever momentanément les barreaux.

J'ai vu ces gazogènes en fonction au Thiriau, lors des essais de réception dont j'avais été chargé, en 1907. On y brûlait des déchets de four à coke, décrépitants, très humides, donnant à l'analyse 23 p. 100 de cendres. Toutes les quarante minutes, on décrassait un appareil sur trois et l'on en retirait jusqu'à 125 kilogrammes de scories. Le rendement atteignit près de 80 p. 100, ainsi que je l'ai déjà rapporté plus haut.

M. Ollagnier a résolu le problème du traitement des charbons à haute teneur de cendres, par un procédé entièrement différent, qui consiste à travailler ces charbons en allure très chaude dans un gazogène en forme de haut fourneau ; en réduisant la

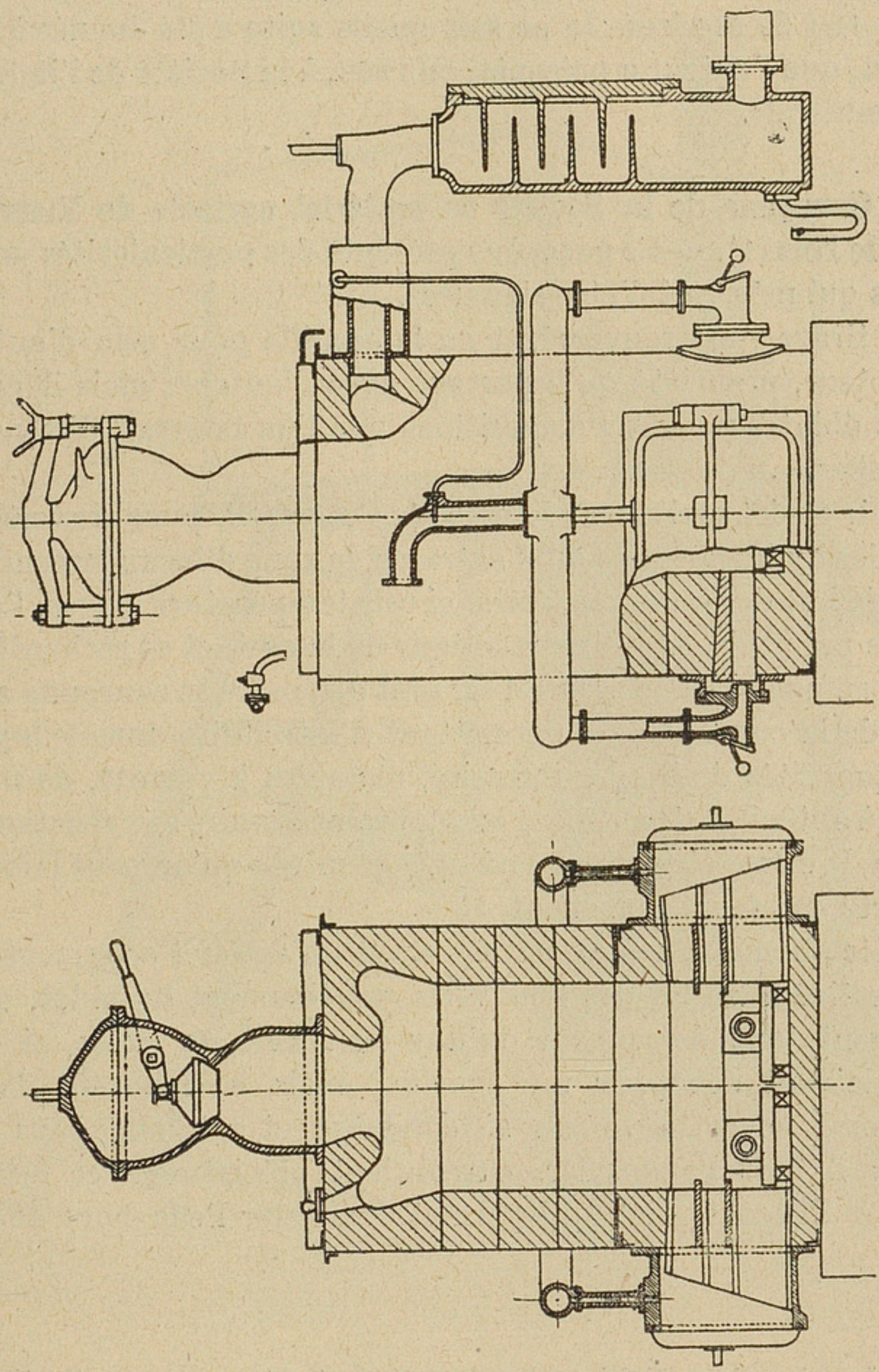


Fig. 80 et 81. — Gazogène Letombe pour charbons cendreux.

quantité de vapeur d'eau injectée au minimum, on peut transformer en laitier fusible la majeure partie des cendres. On a prétendu qu'il était même possible de gazéifier une houille à 64 p. 100 de cendres. Je ne sais quelle suite a été donnée à ce projet, que l'auteur a présenté, en 1909, à la Société de l'industrie minérale.

2. **Gazogène de la Société de matériel agricole de Vierzon pour le bois** (1). — Ce gazogène présente des particularités nouvelles qui méritent d'être signalées.

Le tirage y est renversé, et on le qualifie pour cela d'autoréducteur, propriété qu'il partage avec d'autres ; mais il présente d'autre part des dispositions que l'on pourrait dire personnelles.

L'air aspiré arrive par le haut de l'appareil, pour traverser, avec les hydrocarbures qu'il entraîne, la zone d'incandescence ; dans le but de conserver à celle-ci une température élevée, l'air admis par aspiration circule autour de la cuve et se réchauffe ; de plus, une série de prises d'air sont disposées en couronne autour de la cuve, et elles permettent d'introduire dans le foyer des quantités d'air surnuméraire, réglables à volonté, de manière à obtenir l'atmosphère oxydante nécessaire aux réactions. Enfin, la cuve est surmontée d'une cheminée qu'on peut laisser ouverte en fonctionnement.

Cette cheminée est excentrée. C'est qu'en effet ce gazogène est destiné à traiter des bois verts extrêmement humides, qui dégagent tant de vapeur qu'il y en aurait un excès, si on n'en laissait échapper une partie ; mais en montant dans la cheminée, cette vapeur se condense et retombe dans la cuve ; il faut l'empêcher. On obtient précisément ce résultat par l'excentration qui permet de rejeter l'eau hors de la cuve.

---

(1) Le gazogène Riché, qui a trouvé de si heureuses applications pour le traitement du bois de toutes formes, menu en copeaux et en sciure, devrait de nouveau être mentionné en cette place, mais nous prions le lecteur de se reporter à la description qui en a été donnée ci-dessus à la page 288.

J'ai été appelé, en 1914, à faire des essais sur ce gazogène qu'on a alimenté de déchets et de copeaux de chêne, de hêtre, d'orme,

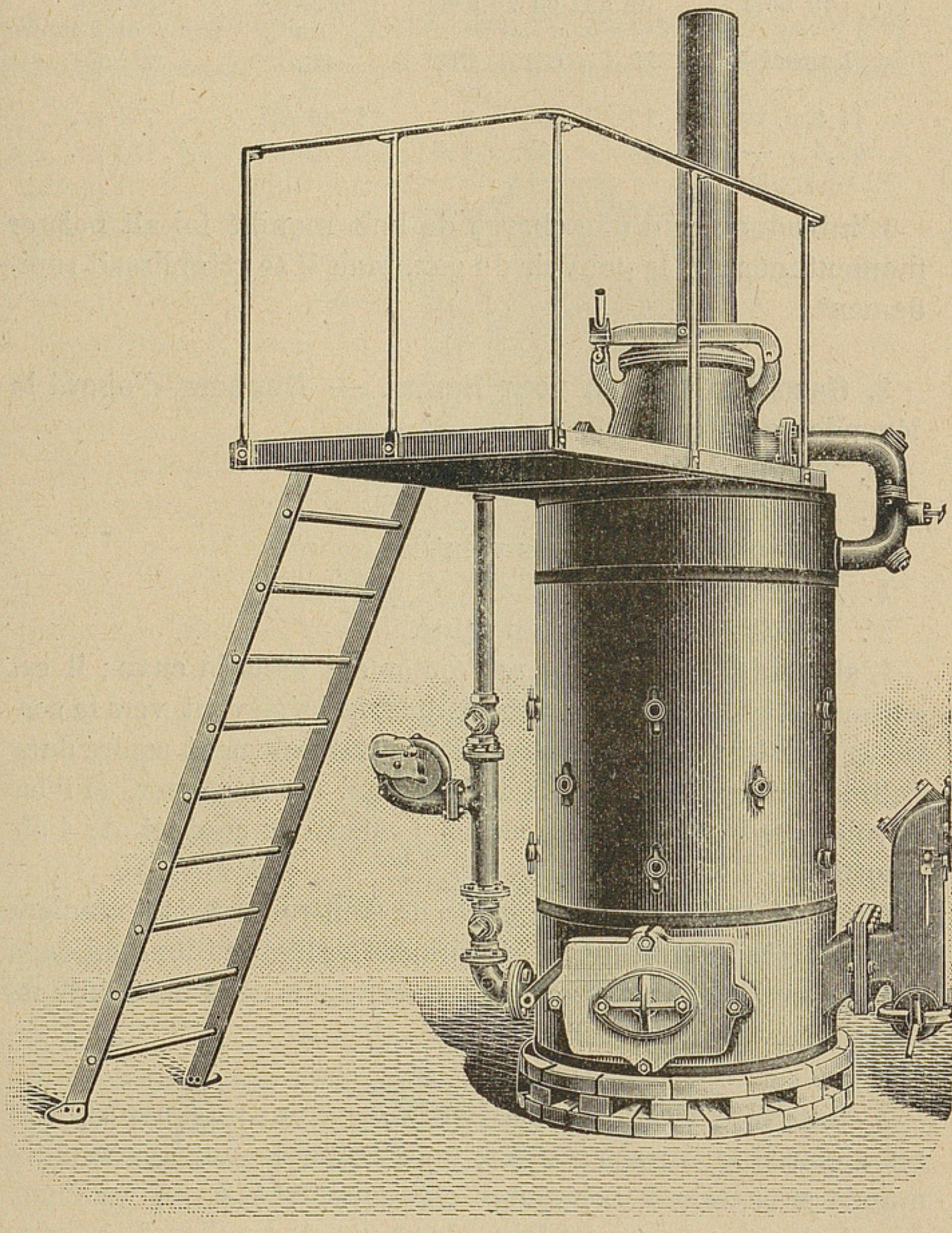


Fig. 82. — Gazogène de la Société de matériel agricole de Vierzon.

de sapin plus ou moins fraîchement coupé ; les gaz actionnaient un moteur de 100 chevaux.

Les expériences ont donné les excellents résultats ci-dessous :

Teneur du bois en humidité	Composition p, 100 du gaz en volume			Pouvoir du gaz	Consommation de bois par cheval-heure effectif
	H	CO	CH^4		
14,8 p. 100	17	20	2	1336 cal.	775 gr.
41,6 —	16	14	1,6	1179 cal.	1.463 gr.

L'introduction d'une charge de bois mouillé faisait baisser momentanément le pouvoir du gaz, mais il se rétablissait rapidement.

3. **Gazogène Pintsch pour lignite.** — Donnons d'abord la légende de la figure 83.

E. Trémie de chargement.
A. Alimentateur.
L. Conduite des matières volatiles.
J. Aspirateur à vapeur.
V. Ventilateur de mise en route.

L'alimentateur descend profondément dans la cuve ; il est entouré et chauffé par les gaz chauds, qui s'élèvent vers la sortie E. Un injecteur à vapeur disposé latéralement aspire dans l'alimentateur les produits volatils qui s'y dégagent, et il les envoie sous la grille, en K, où ils brûlent au contact de l'air insufflé.

On peut craindre que la grille ne souffre de cette manière de faire, très intéressante d'ailleurs,car les lignites donnent dans cet appareil de bon gaz. A remarquer que le coke de lignite ne s'agglomère pas.

3. **Gazogène Kœrting pour lignite.** — Nous retrouvons dans cet appareil le tirage renversé, pour lequel les ingénieurs allemands montraient beaucoup d'engouement à un moment donné : la prise de gaz est faite plus bas qu'au milieu de la hauteur de la cuve, vers le tiers, à partir de la grille ; on a cherché évidemment à effectuer cette prise à mi-hauteur de la colonne du combustible, accumulé dans la cuve.

Pour former en ce point l'atmosphère oxydante, qu'il faut

on a placé sur le côté une grille à gradins, en plus de la grille de fond. Les produits goudronneux sont aspirés de haut en bas vers l'orifice de départ.

Le lignite renferme toujours assez d'humidité pour qu'on soit dispensé de munir le gazogène d'une chaudière de vaporisation.

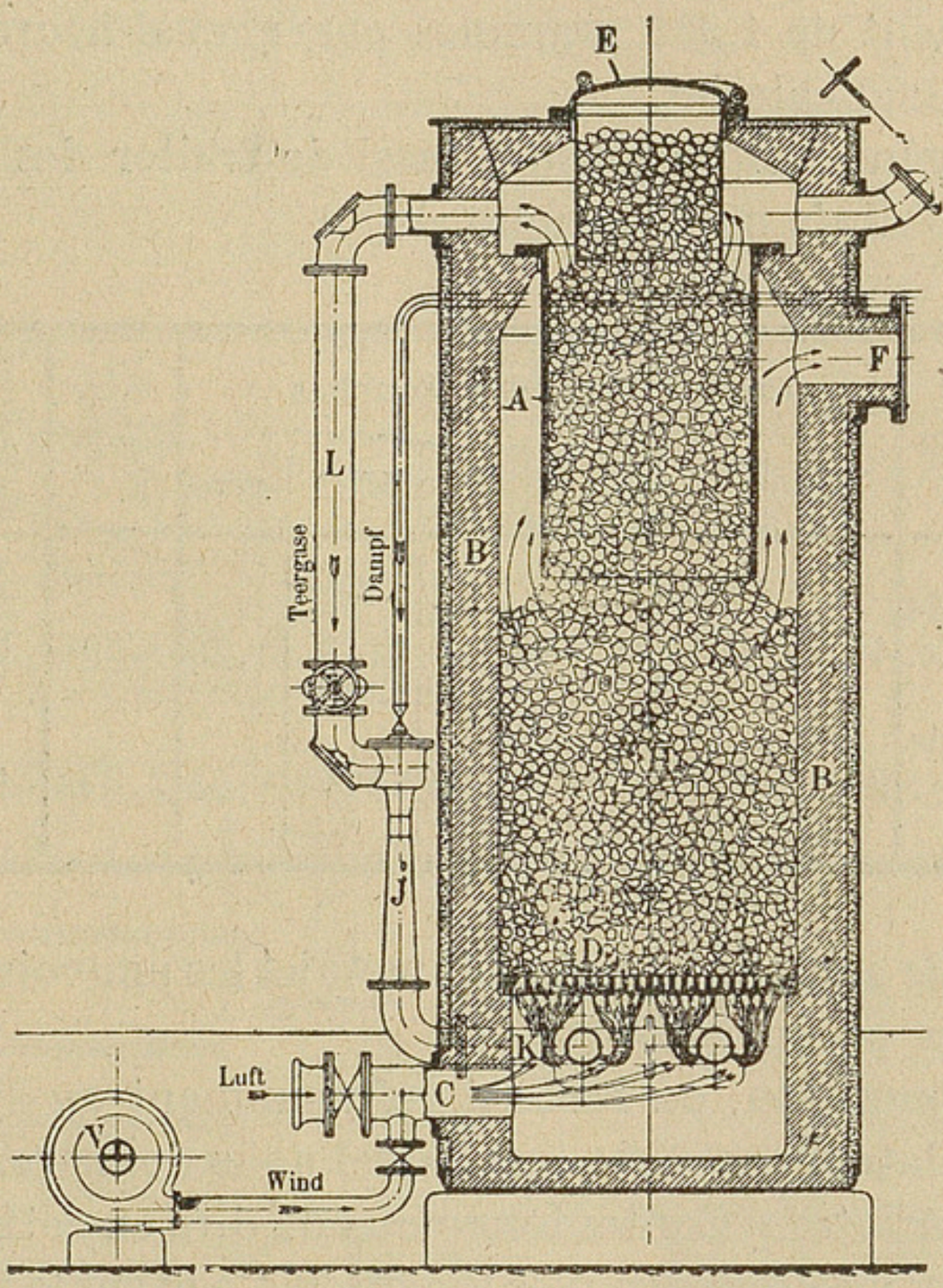


Fig. 83. — Gazogène Pintsch pour lignite.

5. **Gazogène Otto pour lignite.** — La maison Otto de Deutz, près de Cologne, placée au centre de l'important gisement de lignite brun (*Braunkohle*) de la province rhénane, a été amenée à créer un modèle spécial, destiné au traitement de ce combustible ; elle y a remporté de remarquables succès.

Son gazogène est aussi à double tirage et, si j'en crois un dessin que j'ai sous les yeux, il serait même à double combustion, attendu qu'on a indiqué deux foyers d'ignition, l'un au-dessus de la prise de gaz et l'autre en dessous, contre la grille.

La teneur en eau permet de croire qu'il se forme, en haut et en bas, du gaz Dowson, et pas du tout de gaz Siemens.

La capacité de la chambre à combustible de l'appareil dépend de la nature du lignite employé. Un litre de lignite pesant 800 grammes, on compte 7 décimètres cubes par cheval de puissance du moteur à desservir ; la consommation de lignite est moyennement de 1.335 grammes par cheval-heure, pour du lignite à 3.000 calories.

Le gazogène Otto a permis aussi de traiter des tourbes, et voici les résultats qu'on a indiqués.

Provenance	Composition des Tourbes						Pouvoir calorifique	Gaz engendré par kgr.	Pouvoir du gaz
	C	H	Az + O	S	H^2O	Cendres			
								mc.	cal.
Tourbe de Hanovre.	41,46	3.88	18,85	0,25	32,3	3,26	3.596	1,86	1.429
Tourbe de Giengen.	30,3	2,71	17,63	0,16	44,42	4,78	2.392	1,32	1.350

A la mode allemande, nous donnons ici les pouvoirs inférieurs des tourbes et du gaz.

Pour l'épuration, on recourt fréquemment au système des deux ventilateurs en série, sur lequel nous donnerons plus loin notre appréciation. Contentons-nous de dire en cette place que ce sont deux ventilateurs avec injection d'eau sur le tuyau d'appel ; il n'y a plus ni scrubber, ni épurateurs à sciure. Les goudrons, fouettés par les ailes des ventilateurs et incorporés à l'eau, s'écoulent avec celle-ci dans un bassin de décantation et se déposent au fond. Le ventilateur de queue donne une eau beaucoup plus claire, qu'il y a intérêt à séparer de celle qui vient du ventilateur de tête.

Par 100 kilogrammes de tourbe, on développe habituellement, en moteurs, 60 chevaux-heures.

6. **Gazogène Winterthur à tourbe.** — Cet appareil (fig. 84) ne diffère pas essentiellement de celui que la Société Suisse pour

la construction de machines de Wintherthur construit depuis plusieurs années pour l'anthracite, mais ses dimensions et ses formes ont été étudiées spécialement en vue de cette adapta-

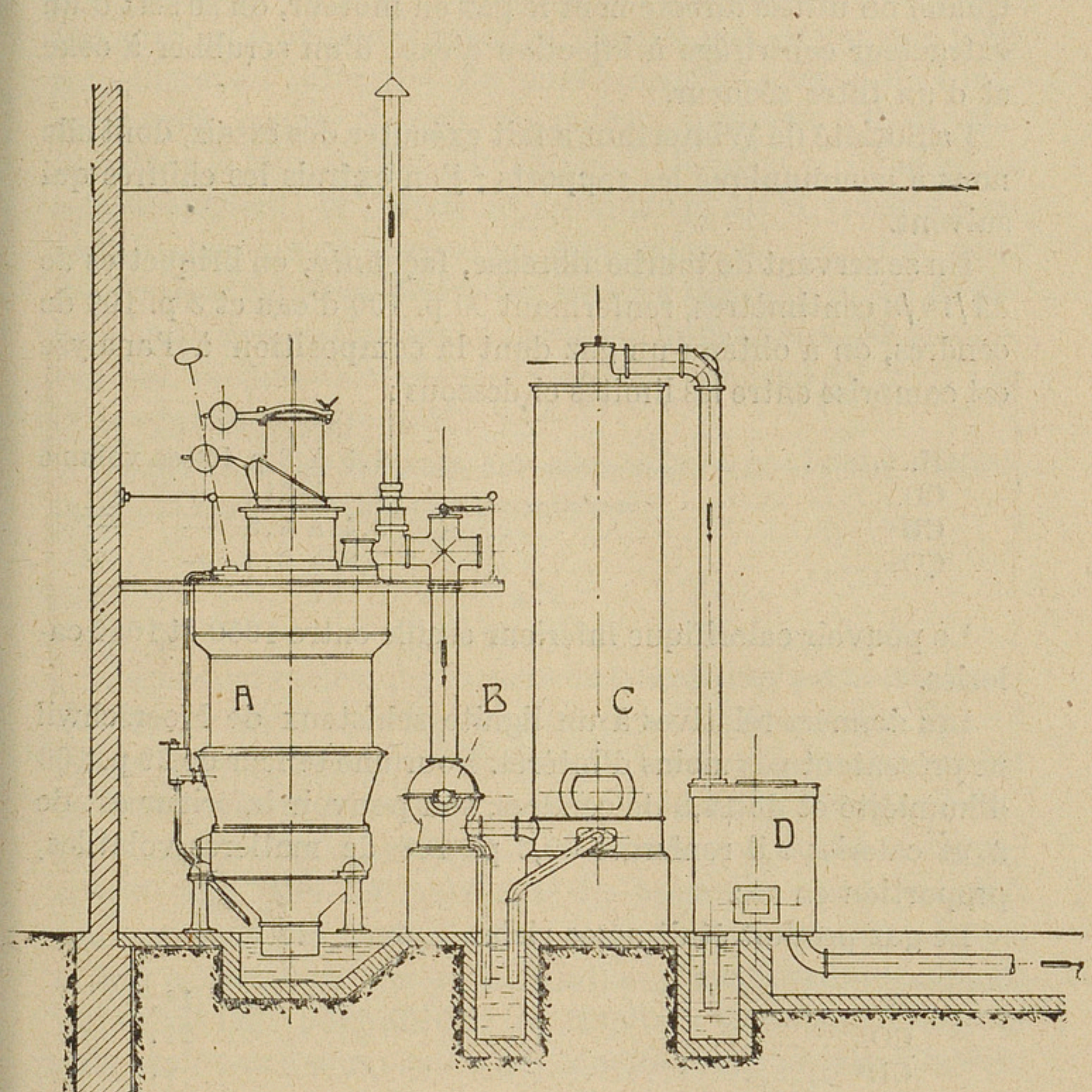


Fig. 84. — Gazogène Winterthur à tourbe.

tion nouvelle. Ainsi le volume du magasin à combustible a été augmenté, en même temps que la hauteur de la couche a été élevée ; d'autre part, le vaporisateur était mieux adapté à sa fonction qui est diminuée. On s'est efforcé d'utiliser la chaleur des gaz pour le séchage de la tourbe ; elle contient encore 25 p. 100 d'eau, même quand elle est sèche d'apparence.

Pour les applications de chauffage industriel, le gaz obtenu peut être employé sans épuration ; il n'y a qu'à le sécher, pour éviter qu'un excès de vapeur ne vienne à nuire à la combustion. Quand on utilise directement le gaz en moteur, on se sert d'un extracteur centrifuge à injection d'eau, d'un scrubber à coke et d'un filtre sécheur.

La Société de Winterthur a fait exécuter des essais, dont elle nous a communiqué les rapports ; j'en extrais les chiffres qui suivent.

En se servant de tourbe fibreuse, façonnée, en briquettes de 35 /10 /8 centimètres, renfermant 50 p. 100 d'eau et 3 p. 100 de cendres, on a obtenu un gaz dont la composition à l'analyse est comprise entre les limites ci-dessous :

H	6,5	à 8	p. 100	en volume
CO	20	à 21	—	—
CH^4	3,4	à 4,5	—	—
CO^2	7,8	à 8,5	—	—

Le pouvoir calorifique inférieur oscille entre 1050 et 1080 calories.

Les données relatives à un lignite schisteux de Moerschwil ne présentent pas moins d'intérêt. Pour une teneur de 29 p. 100 d'humidité et de 14,3 de cendres, son pouvoir inférieur est de 2794 calories : il renferme 69,3 p. 100 de matières volatiles, proportion en sec.

Le gaz produit était assez riche.

H	18,1
CO	21,2
CH^4	2,0
C^2H^4	0,3
CO^2	5,8

Son pouvoir au calorimètre a été trouvé de 1285 calories.

On prétend avoir constaté des rendements de 76 p. 100 qui ont pu atteindre, dans certains cas plus favorables, une valeur de 90 p. 100. Ces chiffres ont été publiés par les constructeurs.

7. **Gazogène Galaine et Houlbert pour gadoues.** — Ce gazogène, qui convient aussi bien pour les tourbes et la sciure de

bois que pour les gadoues (ordures ménagères combustibles), se compose de six cornues cylindriques, animées d'un mouvement de rotation : leurs axes sont rangés symétriquement autour d'un pivot central. On peut les introduire l'une après l'autre à l'intérieur d'un four semi-circulaire, chauffé par les gaz que nous recueillerons d'autre part. En fonctionnement normal, il y a toujours trois cornues chargées de gadoues soumises à la distillation dans le four et trois à l'extérieur ; de celles-ci, l'une est en refroidissement, la deuxième en vidange et la troisième en remplissage. La carbonisation dure quarante minutes, pour des cornues capables de traiter en une fois une tonne de gadoue. Les cornues tournent à la vitesse de dix tours par minute. Les gaz produits s'échappent par leur axe, qui est creux ; de là ils vont au pivot central.

La rotation des cornues sur elles-mêmes contribue à régulariser la carbonisation et à l'accélérer.

***

Les monographies, que je viens de tracer, quelque nombreuses qu'elles puissent paraître, sont très incomplètes, mais j'ai été obligé de me borner, de crainte de tomber dans des redites fatiguantes pour le lecteur, qui s'étonnerait de voir reproduire, sous des formes qui présentent en somme peu de diversité, des choses déjà vues. La nouveauté des appareils réside en effet souvent dans des combinaisons nouvelles d'éléments connus, et leur mérite se mesure à l'adaptation judicieuse et rationnelle qui en est faite pour obtenir les résultats cherchés. Je reconnais avoir passé sous silence des combinaisons pleines d'intérêt et prie ceux que je n'ai point cités de me le pardonner.

CHAPITRE VIII

LES DISPOSITIONS AUXILIAIRES

Nons avons déjà rencontré et décrit dans nos études antérieures un certain nombre d'appareils auxiliaires, compléments indispensables des gazogènes. Nous sommes dispensés d'y revenir avec de grands détails, et nous contenterons d'appeler l'attention sur quelques points qui la méritent plus particulièrement.

I. — PRODUCTION DES GAZ

Quelques remarques d'abord sur les conditions générales d'installation.

Les producteurs de gaz et leurs accessoires, bien que libérés des restrictions administratives des premiers temps, doivent néanmoins être installés de manière à assurer l'hygiène et la sécurité des ouvriers, non moins que la bonne conservation des machines. Un appentis ouvert ou un hangar convient bien, sous la réserve qu'en hiver on n'ait pas à craindre les effets de la gelée.

Un gazogène ne nécessite pas d'autres fondations que celles qui se voient sur la figure 85. Il faut veiller toutefois à ce que le sol soit résistant et ne donne pas lieu à des tassements, qui feraient subir aux tuyauteries des efforts anormaux et pourraient provoquer des fuites. Une plate-forme en béton de ciment donne à cet égard pleine sécurité, sans être nécessaire.

Il faut prévoir les écoulements d'eau et leur évacuation facile.

Quelquefois les producteurs sont mis en fosse ; il est commode en effet d'avoir la trémie de chargement sous la main. Quand les cuves sont au-dessus du sol, on les munit d'une échelle ou d'un

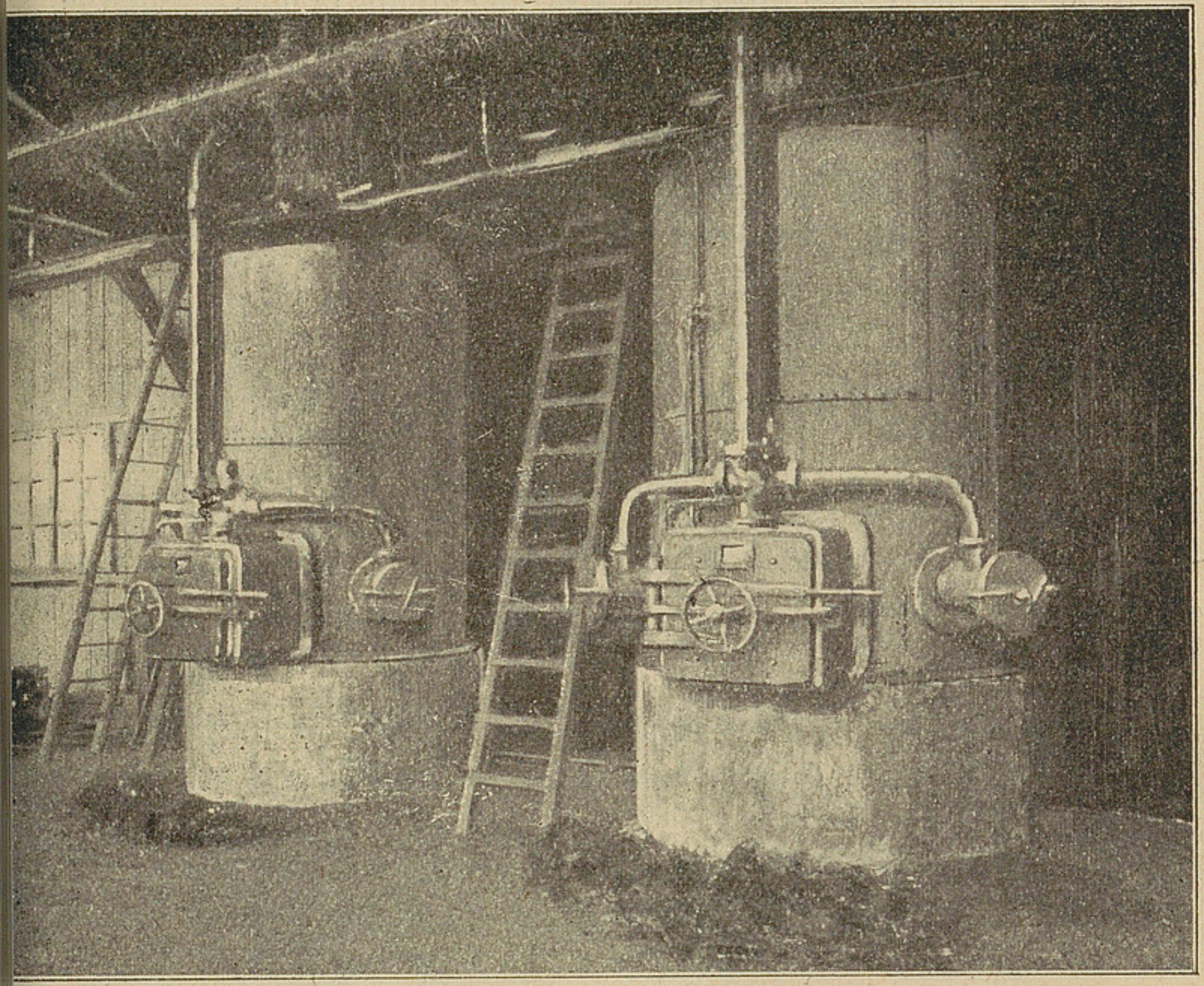


Fig. 85. — Installation de gazogène.

escalier, qui doit rendre le service commode. Souvent, on les surmonte d'un plancher surélevé, qui doit être aisément accessible et suffisamment large.

Dans les grandes installations en batterie, on dispose en l'air des trémies d'adduction du combustible ; quelquefois on recourt à des élévateurs mécaniques.

Les appareils à chargements fréquents ont leurs partisans, alors que d'autres préfèrent les dispositifs qui pourvoient d'un

coup à l'alimentation pour plusieurs heures : *adhuc sub judice lis est.*

Les trémies montées sur les cuves doivent être étanches, surtout pour les appareils à tirage direct et à aspiration. La figure 86 montre une fermeture supérieure très recommandable. Pour ce qui est de la fermeture inférieure, on emploie le plus souvent le modèle *cup and cone* des hauts-fourneaux : la soupape conique produit un éparpillement des morceaux très favorable. On peut aussi préconiser les dispositifs dans lesquels un plateau appuyant sur une glace recouvre l'orifice ou le découvre, en s'éclipsant par rotation ou par déplacement rectiligne : on a de la sorte une

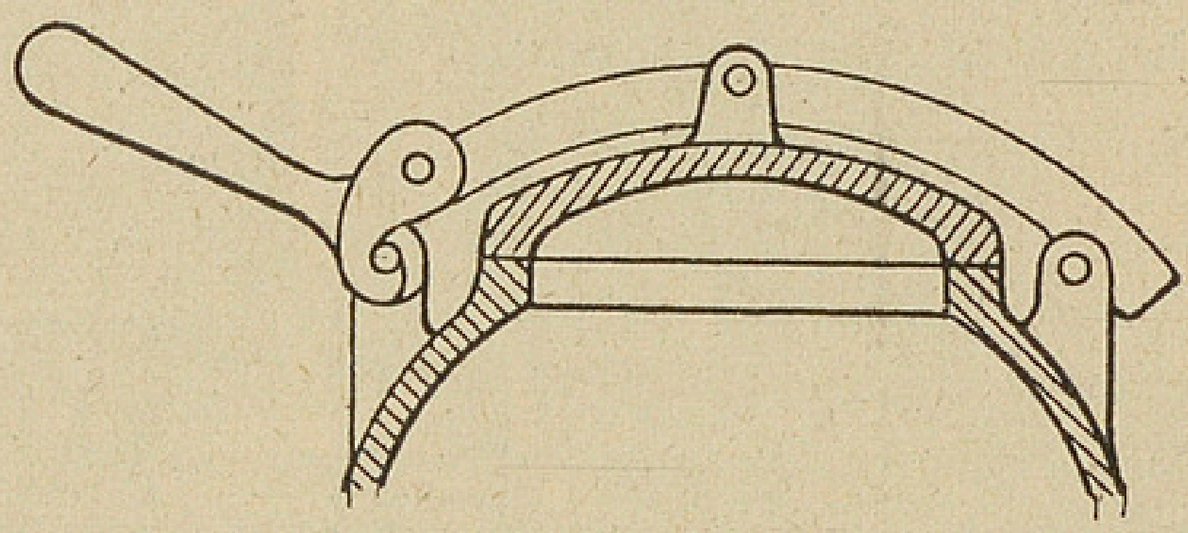


Fig. 86. — Couvercle hermétique de trémie.

facilité de plus pour travailler le feu, égaliser les couches, briser les voûtes, etc. Mais ce mécanisme demande à être surveillé et entretenu.

Les robinets constitués par un gros cône percé d'un large orifice, se mouvant dans un boisseau venu de fonte avec le chargeur, ont séduit quelques constructeurs par leur simplicité ; il faut les démonter souvent pour les nettoyer et ne pas leur demander beaucoup d'étanchéité, si l'on ne veut pas qu'ils grippent.

La chaudière séparée de Dowson n'est plus guère employée que pour le service d'une batterie de gazogènes : dans la pratique des petits appareils, le générateur de vapeur surmonte la cuve dans la majorité des installations actuelles.

Le vaporisateur chauffé par le contact des gaz chauds au départ présente de grands avantages, qui font oublier le supplément de dépense qu'il entraîne. On a fait breveter (bien inutilement) un grand nombre de formes de vaporisateurs, et

Lencauchez n'a pas manqué de créer sa chaudière, dont M. Deschamps a donné la description. Ces vaporisateurs extérieurs sont souvent tubulaires, comme celui de la figure 87, qui est le modèle Otto : il n'exige aucune description. Ce type a le privilège de donner rapidement de la vapeur, dès la mise en route, mais il faut l'alimenter d'eau bien pure, sinon les sels calcaires l'incrusteraient rapidement. Il se produit du reste des concrétions avec les meilleures eaux : à ce point de vue, l'eau dans les tubes est préférable à l'eau autour des tubes ; mais alors, il faut prévoir le moyen de débarrasser l'extérieur des tubes des poussières et de la suie que le goudron y fait adhérer. On ne doit jamais faire les tubes en cuivre ou en laiton, car ils seraient rapidement corrodés. On a aussi employé quelquefois des tubes Field, sans grand succès.

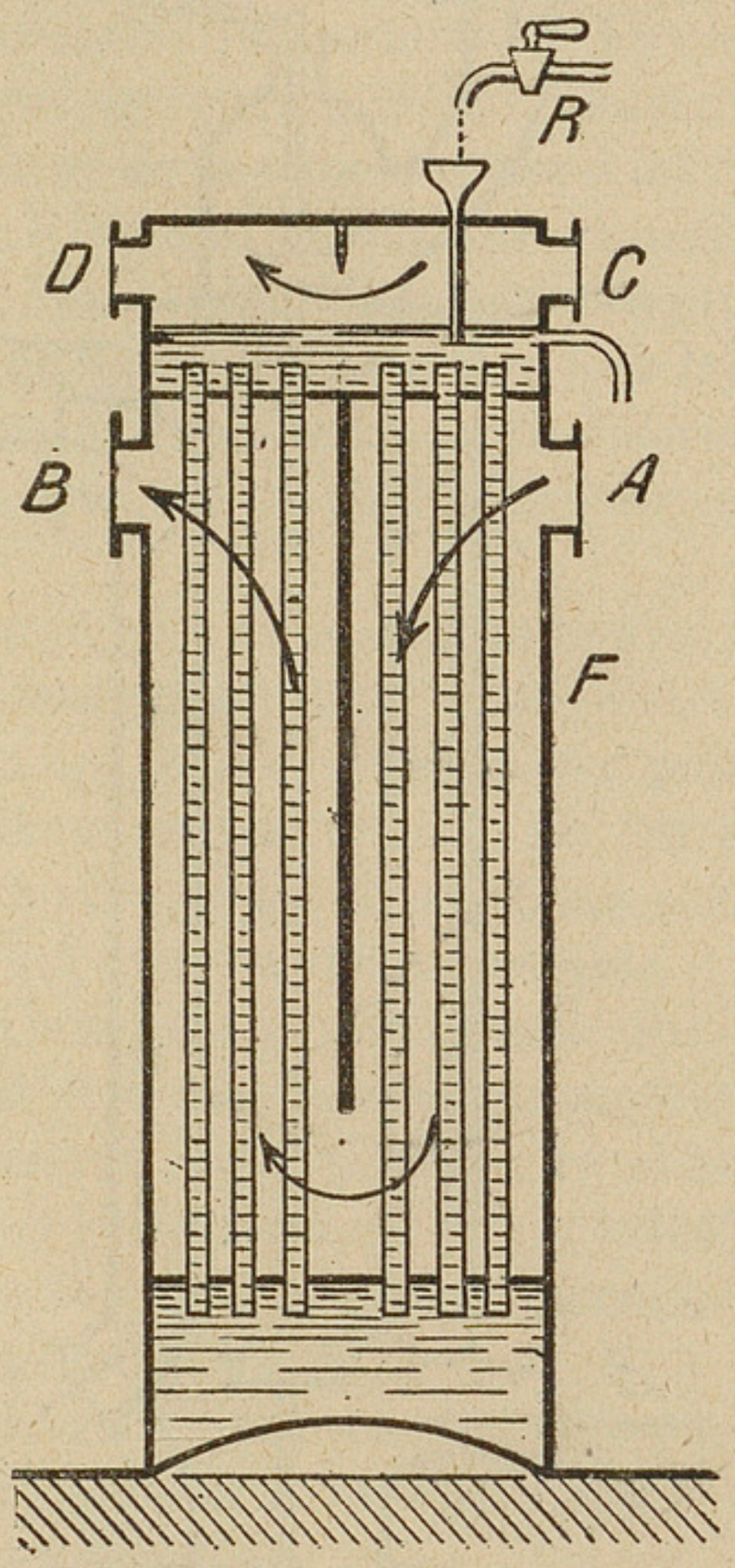


Fig. 87. — Vaporisateur Otto.

Le danger des incrustations a fait revenir à des vaporisateurs cloisonnés en fonte, fortement chicanés, pour augmenter leur efficacité, très accessibles à l'intérieur, afin de permettre de fréquents nettoyages.

Nous avons sans doute déjà dit que ces vaporisateurs jouissent dans une certaine mesure d'une faculté d'auto-régulation, puisque le débit de vapeur se proportionne de lui-même au débit des gaz et à l'ardeur du feu ; malgré cela, les ateliers de Winterthur ont imaginé un doseur, que j'ai décrit précédemment.

On a quelquefois supprimé la chaudière extérieure et l'on a mis à sa place un réchauffeur d'air, à effet méthodique (circulation inverse d'air frais et de gaz chauds), auquel on a annexé un pulvérisateur ; Letombe était partisan de cette manière d'organiser les choses.

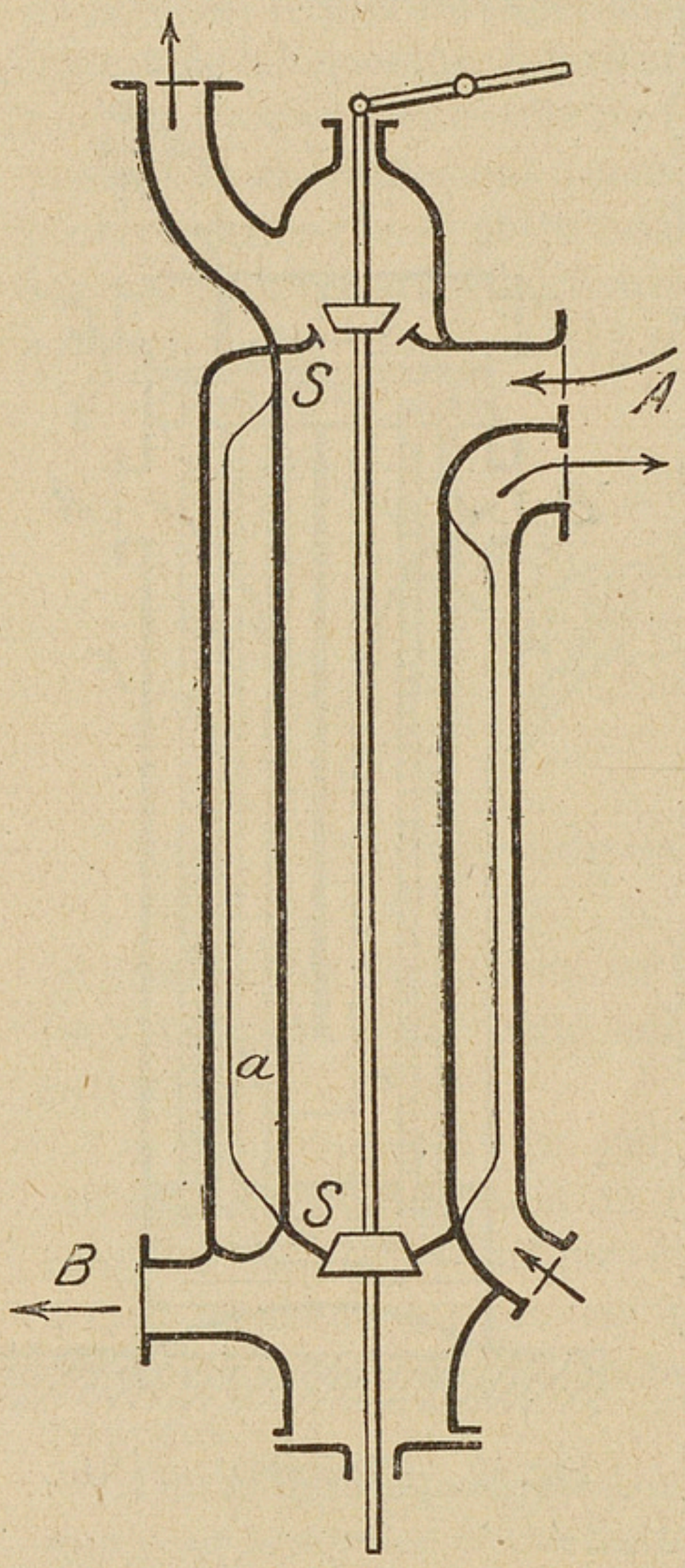


Fig. 88. — Réchauffeur d'air Winterthur.

Le réchauffeur d'air, souvent appelé régénérateur, parce qu'il récupère la chaleur sensible des gaz et qu'il régénère le calorique, en le rendant utilisable et en l'utilisant, est donc un échangeur de calories ; on conçoit qu'il puisse en exister une infinité de formes et de dispositions.

Représentons-en un seul, celui de la Société de Winterthur ; il convient surtout aux dispositifs des gazogènes soufflés. Il est à double cheminement, grâce aux soupapes *s*. Dans l'hypothèse de la figure 88, les gaz chauds partent tout droit à l'évacuation. Mais qu'on abaisse la tige portant les deux soupapes et il en va autrement ; entrés par A les gaz s'échappent par B, après avoir parcouru l'appareil de haut en bas ; l'air à chauffer marche au contraire en sens inverse, il monte. Les ailettes *a* multiplient les surfaces de contact et d'échange. Une courte digression sur les régénérateurs trouvera sa place ici.

Portons notre pensée vers les gazogènes qui alimentent les fours, et qui permettent de produire une température élevée au point de leur combustion, et considérons le cas dans lequel gazogène et four sont à quelque distance l'un de l'autre. Il est tout indiqué alors de transporter le calorique des gaz sur l'air secondaire des brûleurs, dès leur sortie du producteur : les gaz subissent ainsi un refroidissement, qui permet de les débarrasser des goudrons, des poussières et de la vapeur d'eau dont ils sont saturés, et de les soumettre à l'épuration qui leur est indispensable, pour qu'ils se prêtent à une combustion satisfaisante et n'engorgent ni les brûleurs, ni les conduites qu'on leur fait parcourir. Leur calorique, qui serait dissipé sans profit dans les laveurs et les épurateurs, est donc repris par l'air secondaire et utilisé par lui.

Nous avons vu que Siemens employait dans ses régénérateurs de chaleur des empilages de briques réfractaires : on a conservé cette pratique. Mais M. Deschamps a fait observer très judicieusement qu'on remplacerait avantageusement les terres réfractaires par des gueuses de fonte : cette remarque me semble avoir passé inaperçue, et c'est assurément regrettable (1).

Les régénérateurs présentent une non moins grande utilité lorsque le gaz combustible doit être distribué à des moteurs à gaz, répartis sur la vaste étendue d'une importante usine. Son transport n'est possible que s'il est froid ; il y a intérêt à le débarrasser de sa chaleur au lieu même de sa gazéification, où l'on en trouvera aisément un multiple emploi.

Les réchauffeurs d'air remplissent fréquemment l'office des jeux d'orgue et des collecteurs de poussières que l'on employait dans les installations de gazogènes soufflés.

---

(1) Deschamps, *op. cit*, page 412. Le savant auteur calcule que, pour les briques, le produit de la densité par leur chaleur spécifique est égal à 0,275, alors qu'il est égal à 0,935 pour la fonte de fer.

II. — ÉPURATION DES GAZ

Les gaz sortent des cuves et des régénérateurs à une température qui est encore élevée, et ils sont chargés de produits qui sont des impuretés inutiles ou nuisibles.

Le barillet est le premier épurateur ; c'est l'appareil classique des gaziers.

Ce barillet a une double fonction à remplir ; c'est un réfrigérant et un purificateur qui arrête les carbures facilement condensables, et c'est une soupape qui garantit contre les retours de flamme. Il est facile à décrire : un bac, rempli d'eau à niveau constant, dans lequel plonge de plusieurs millimètres le tuyau qui amène le gaz : il s'y produit un dénivellement du liquide, de sens différent, suivant que l'on fonctionne par insufflation ou par aspiration. Il est muni d'un trop plein, par lequel s'écoulent les eaux ammoniacales et goudronneuses. Il faut se garder de conduire ces eaux dans les champs du voisin, qui en serait offusqué : l'oubli de cette recommandation a amené plus d'un usager de gazogène devant le juge de paix, sinon devant les tribunaux. Il peut en résulter une interdiction de fonctionnement, sans préjudice de dommages-intérêts.

Voilà maintenant le gaz engagé dans les canalisations qui le conduisent au lieu d'emploi. Avant de l'y suivre, rappelons qu'il convient de conserver partout une même section, pour éviter les variations de vitesse. Un étranglement a pour effet une perte de charge qu'on doit éviter ; une dilatation diminue la vitesse et occasionne des dépôts.

Les sections de canalisations sont rarement trop grandes. Ces canalisations peuvent être trop longues et l'on a intérêt aux installations compactes.

Pour faciliter les visites et les nettoyages, on munit les coudes d'un couvercle jointif et amovible, figure 89 (1).

Nous arrivons aux appareils d'épuration : leur rôle est déci-

---

(1) Rappelons qu'il faut apporter les plus grands soins à l'ajustage des joints des tuyaux, qui sont très nombreux.

sif. Mainte installation a péché par manque d'épuration surtout dans le cas de l'alimentation des moteurs.

Le travail commence dans les laveurs, qu'on désigne presque toujours sous le nom de *scrubber*, emprunté à nos amis les Anglais.

Un scrubber est un laveur, puisqu'il est inondé d'eau, mais ce lavage est accompagné d'un choc du gaz contre un solide rugueux, car l'appareil est coupé de chicanes et d'obstacles au mouvement du gaz, obstacles contre lesquels le gaz se frotte et perd de la force vive (1).

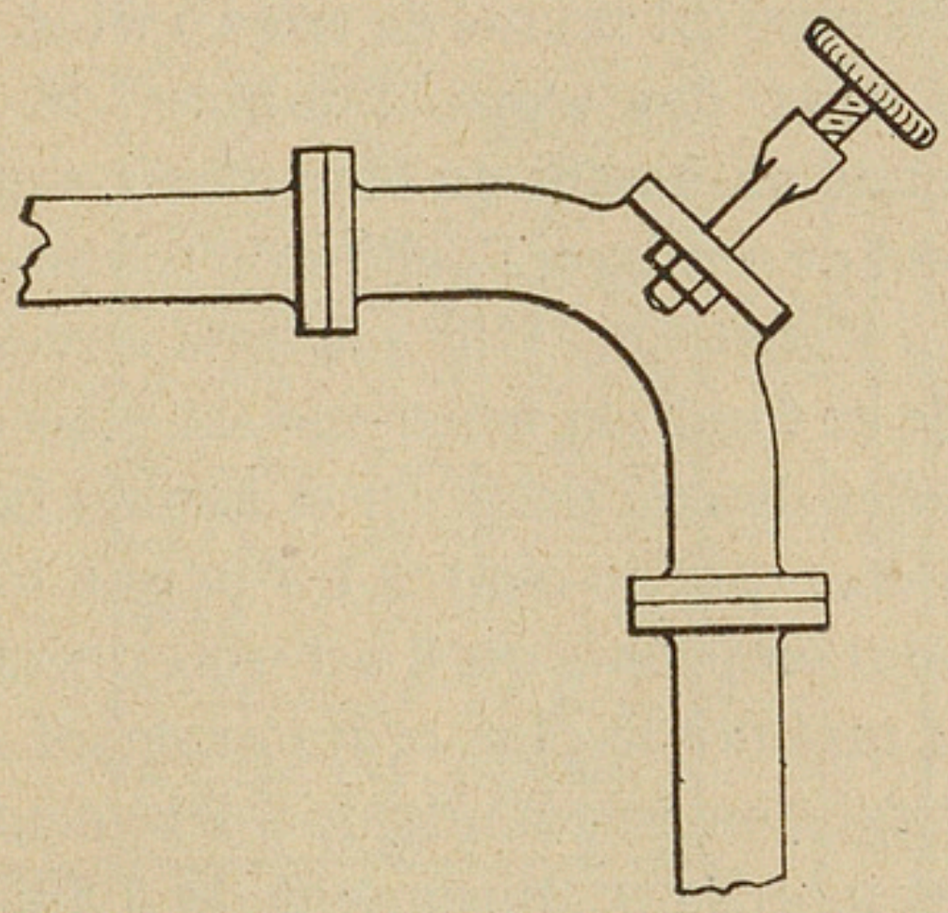


Fig. 89. — Coude à couvercle.

Le scrubber est une grande et haute cuve métallique dans laquelle le gaz arrive par le bas pour en sortir par le haut, en passant par les interstices de fragments solides dont la cuve est remplie. Ces fragments sont des morceaux de coke, des briques, des galets, des boules de verre, etc. Une pluie fine, tombant du haut de l'appareil, lave constamment ces fragments et par suite lave aussi le gaz qui leur a abandonné les impuretés qui le souillaient. L'eau s'accumule à la base et elle s'évacue par un trop-plein en forme de siphon, d'où elle va à l'égout.

Telles sont les grandes lignes de l'appareil, celles qui correspondent au dessin de la figure 90. Arrivé par A, le gaz monte

---

(1) Le verbe *scrub* signifie laver en frottant avec une brosse ; l'idée de frottement est donc à la base de cette expression imagée, et nous avons ainsi le sens exact du mot et de l'opération.

en B et s'en va par C ; la pomme d'arrosoir D distribue l'eau à la surface supérieure de l'amoncellement de morceaux qui remplit la cuve, en reposant sur un fond métallique à claire-voie.

Mais le génie inventif des spécialistes s'est donné libre carrière pour modifier de toute façon et améliorer les dispositions de cet appareil

Nous ne nous attarderons pas à décrire les scrubbers de M. X et de la maison Y. Donnons pourtant quelques détails communs à la plupart des inventions. On dispose une chicane devant la sortie du gaz, pour empêcher les entraînements d'eau dans les conduites. La colonne est munie de trois portes, à joints hermétiques, comme ceux des trous d'homme de chaudières. La porte du bas donne au-dessus du plan d'eau, sous le fond métallique ; elle permet de nettoyer l'orifice du tuyau d'amenée du gaz qui est exposé à s'obstruer. Une seconde ouverture est ménagée au-dessus de ce fond ; la troisième est placée tout en haut ; elles servent toutes deux à nettoyer et à vider la colonne.

On s'impose de répartir contre les parois les morceaux les plus réguliers, pour empêcher qu'il se forme des cheminées le long de la paroi. La matière le plus ordinairement employée est le coke de métallurgie, en fragments de 6 à 10 centimètres de diamètre ; mais les morceaux diminuent de diamètre au fur et à mesure qu'on s'élève dans la cuve ; on finit par une couche de grésillon, sans poussière. Le coke d'usine à gaz est trop friable pour les scrubbers.

Il y a utilité à diviser la colonne en plusieurs étages, séparés par des fonds percés en écumoires ; à chaque étage on gradue la grosseur des morceaux qui lui convient ; chacun d'eux possède sa porte spéciale. Cela a conduit quelques constructeurs à diviser les colonnes en cinq, six et même dix tronçons, portant chacun une sorte de grille, sur laquelle on étend une couche de 40 à 50 centimètres de substances appropriées, présentant au gaz une large surface de contact et assurant son lavage par des chocs répétés contre d'innombrables obstacles.

On a suggéré de surmonter le tout par de la fibre de bois, qui reste sèche, l'arrosage ne s'effectuant que pour les étages inférieurs ; obligé de prendre un contact intime avec cette fibre et de se glisser entre ses interstices, le gaz se trouve filtré.

Le lavage en scrubber coûte beaucoup d'eau, pour être bien fait. La Société des moteurs Taylor-Perfecta a communiqué les

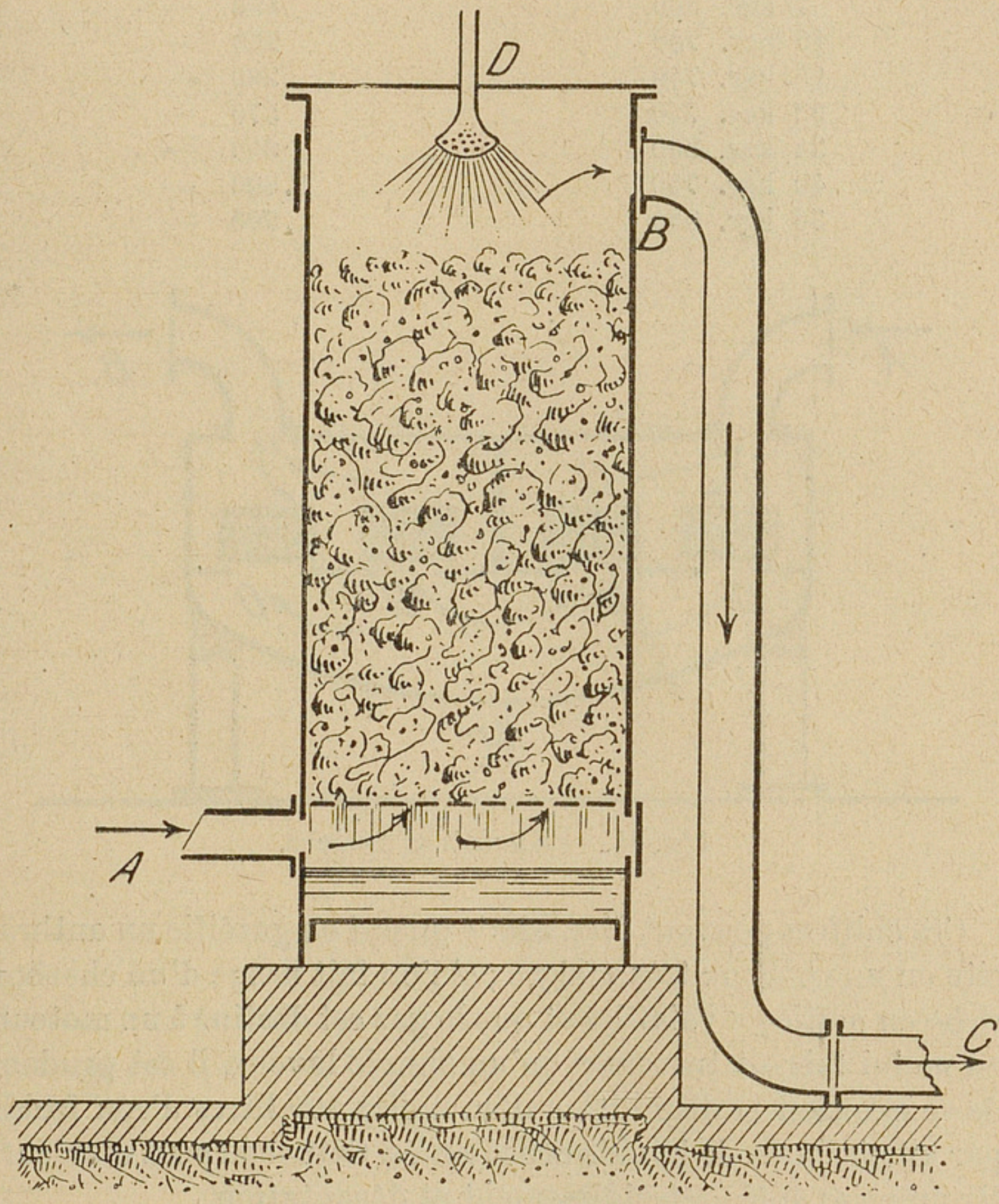


Fig. 90. — Scrubber.

chiffres ci-dessous à M. Champly ; les dépenses d'eau sont données en fonction de la quantité de charbon anthraciteux gazéifié par heure.

Charbon gazéifié par heure	Eau de lavage
5 kgr. 600	120 litres
7 kgr. 800	160 —
10 kgr. 780	250 —
15 kgr. 750	380 —
22 kgr. 750	570 —
34 kgr. 200	850 —
40 kgr. 700	1.000 —
56 kgr. 000	1.500 —

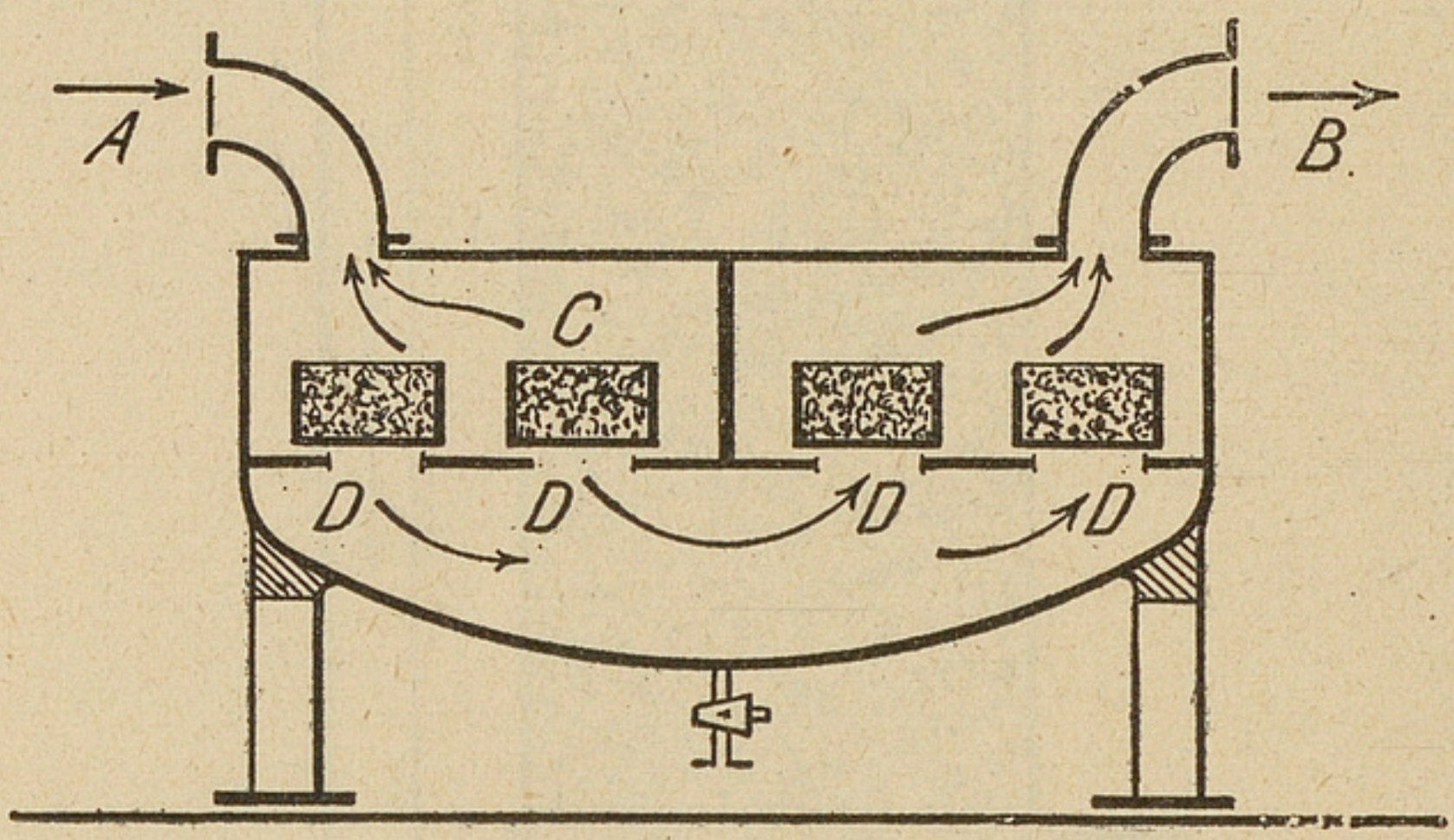


Fig. 91. — Epurateur à sciure.

Ces chiffres peuvent être admis quand on gazéifie un anthracite ou un charbon très maigre ; si l'on fait usage d'un charbon riche en matières volatiles et que le gaz est destiné à un moteur, en ne lui faisant traverser qu'un simple laveur, il est prudent de se ménager la disposition d'au moins 100 litres d'eau froide par kilogramme de houille consommée. Cette eau peut d'ailleurs être reprise après refroidissement et décantation.

L'alimentation des moteurs exige du reste généralement plus qu'un lavage du gaz ; il est prudent de lui faire subir un travail supplémentaire que l'on désigne par le mot d'épuration. On fait une distinction justifiée entre l'épuration physique et chimique.

La première s'obtient en faisant détendre les gaz dans une chambre spacieuse, où le courant perd de la vitesse, change de sens, rétrograde et dépose ses poussières lourdes. Plus souvent, on impose aux gaz de subir un véritable filtrage, en passant

par les interstices d'une matière poreuse, granuleuse ou floconneuse ; une condensation coopère avec l'action du filtre. Les Allemands ont fait quelque réclame en faveur d'un procédé Ruppert, autrefois essayé, puis abandonné, dans lequel on recourait à des sacs, maintenus à haute température et inces-

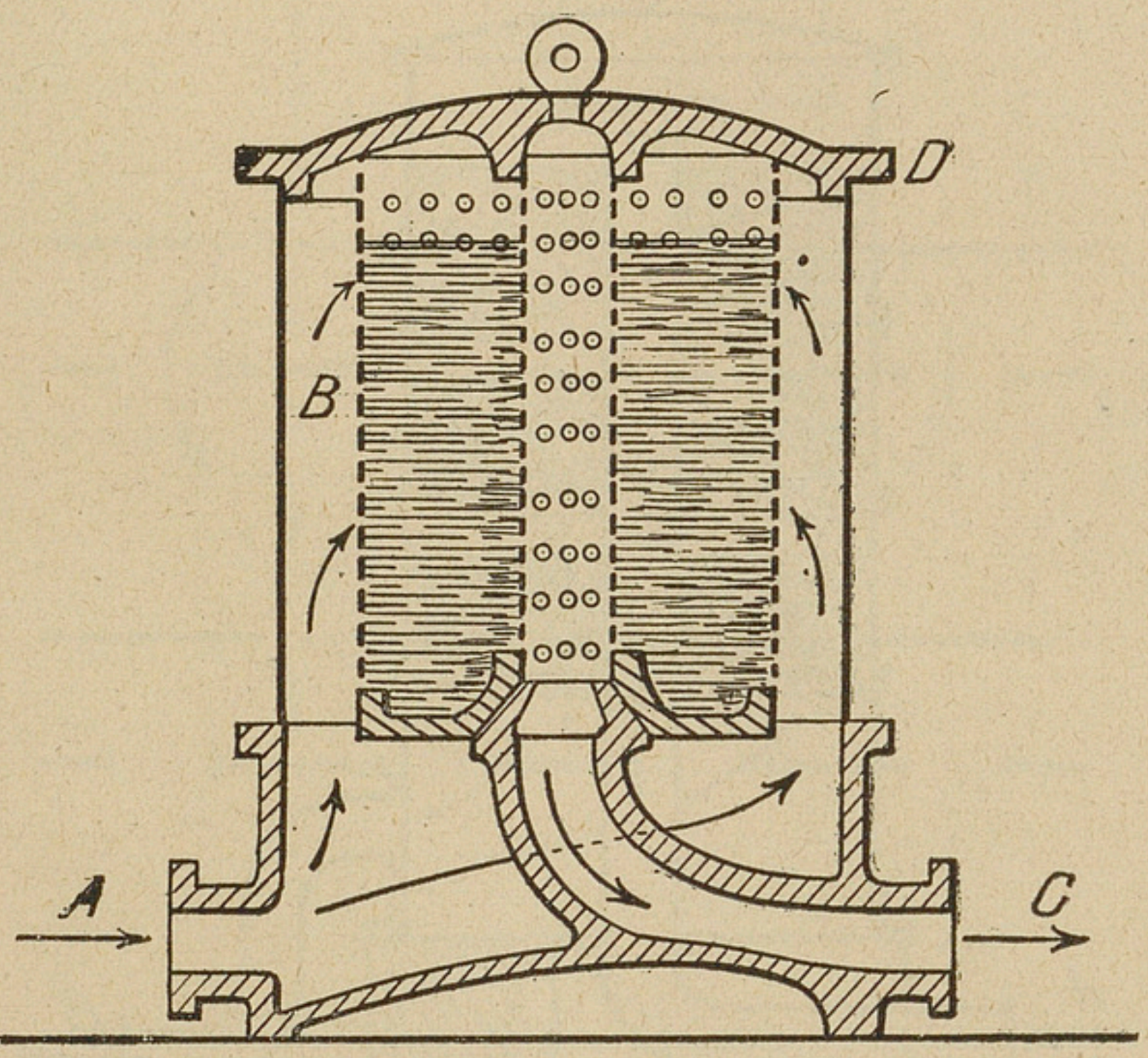


Fig. 92. — Epurateur cylindrique.

samment secoués. Il est aisé d'imaginer des dispositifs d'épuration ; il est plus difficile de trouver du neuf.

L'épurateur à sciure de bois de la figure 91 est un des plus rudimentaires dont on ait fait usage : il est efficace, à condition que le gaz arrive assez sec, sinon la sciure se gonflerait et perdrait de sa perméabilité ; on serait obligé de la renouveler trop souvent. Le plus souvent on la renferme dans des boîtes à fond de tamis. Le gaz entre par A, traverse les boîtes C et les ouvertures D et sort par E.

Le dispositif de la figure 92 est à recommander aussi ; la sciure ou la mousse remplit un espace annulaire B. En soulevant le

couvercle D, on peut dégager les ouvertures percées dans les cylindres, si elles s'obstruent.

On emploie souvent, au lieu de sciure, des copeaux, de la fibre ou laine de bois, qui se tassent moins.

Le tassement des matières est un obstacle à surmonter. La

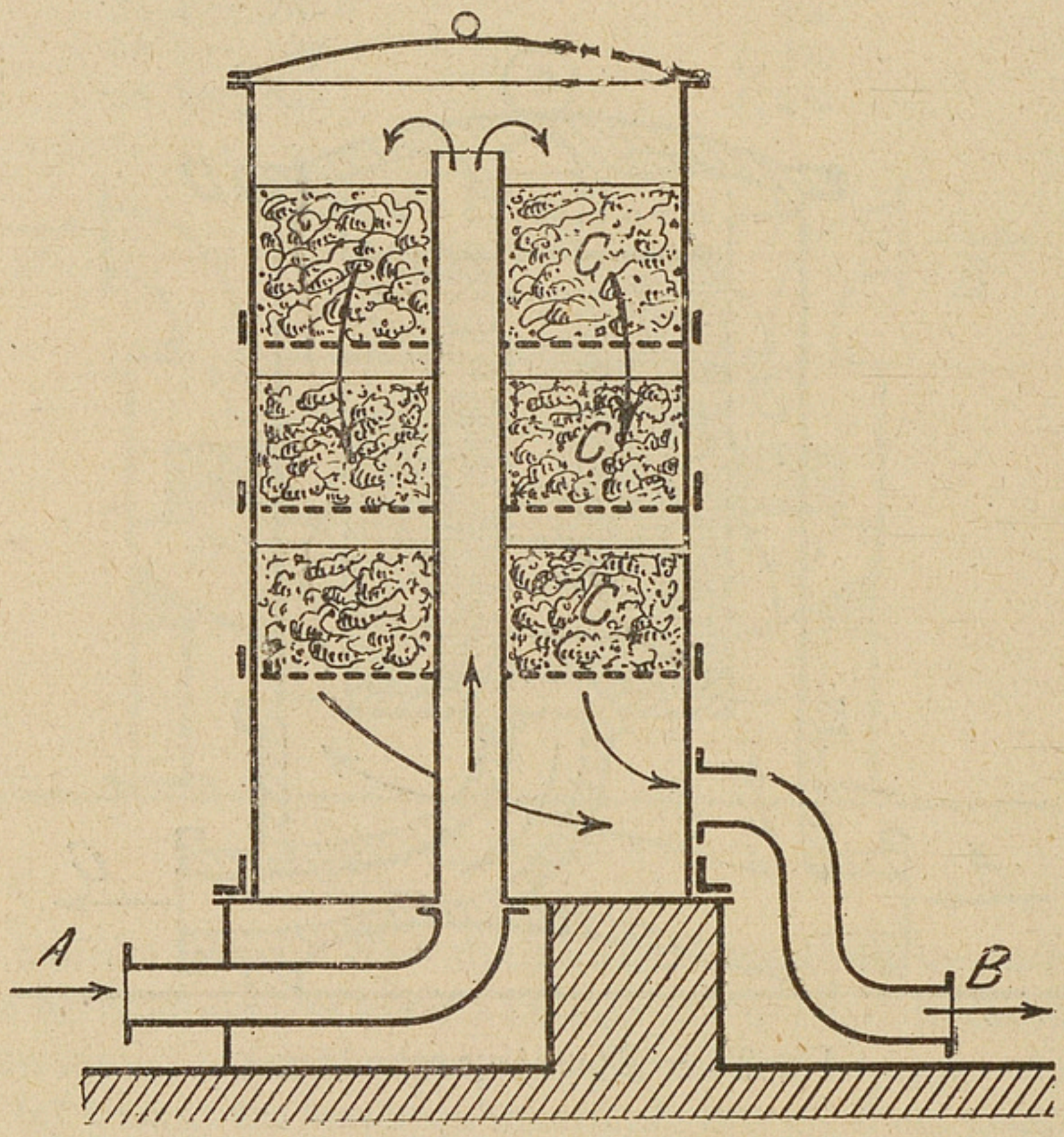


Fig. 93. — Epurateur Heurtey et Sauvageon.

maison Fichet et Heurtey (Fichet et Sauvageon) a construit un épurateur à mousse végétale cloisonné; des claies superposées supportent la mousse. Les compartiments étagés peuvent être facilement démontés et ce dispositif se prête à une sorte de revivification aisée des filtres. MM. Pierson ont adopté une construction analogue.

Quelques firmes emploient aussi la tournure de fer.

La fermeture de ces appareils doit être hermétique ; on a avantage à employer des couvercles à joint hydraulique.

Ces épurateurs ne sont pas encore assez efficaces pour ces goudrons, « vagabonds vésiculaires », qui ont causé tant de tracas à Lencauchez. Voici en quels termes il dépeignait l'état des gaz obtenus par la gazéification d'un splint coal à 43 p. 100 de matières volatiles : « le goudron conservant tou-

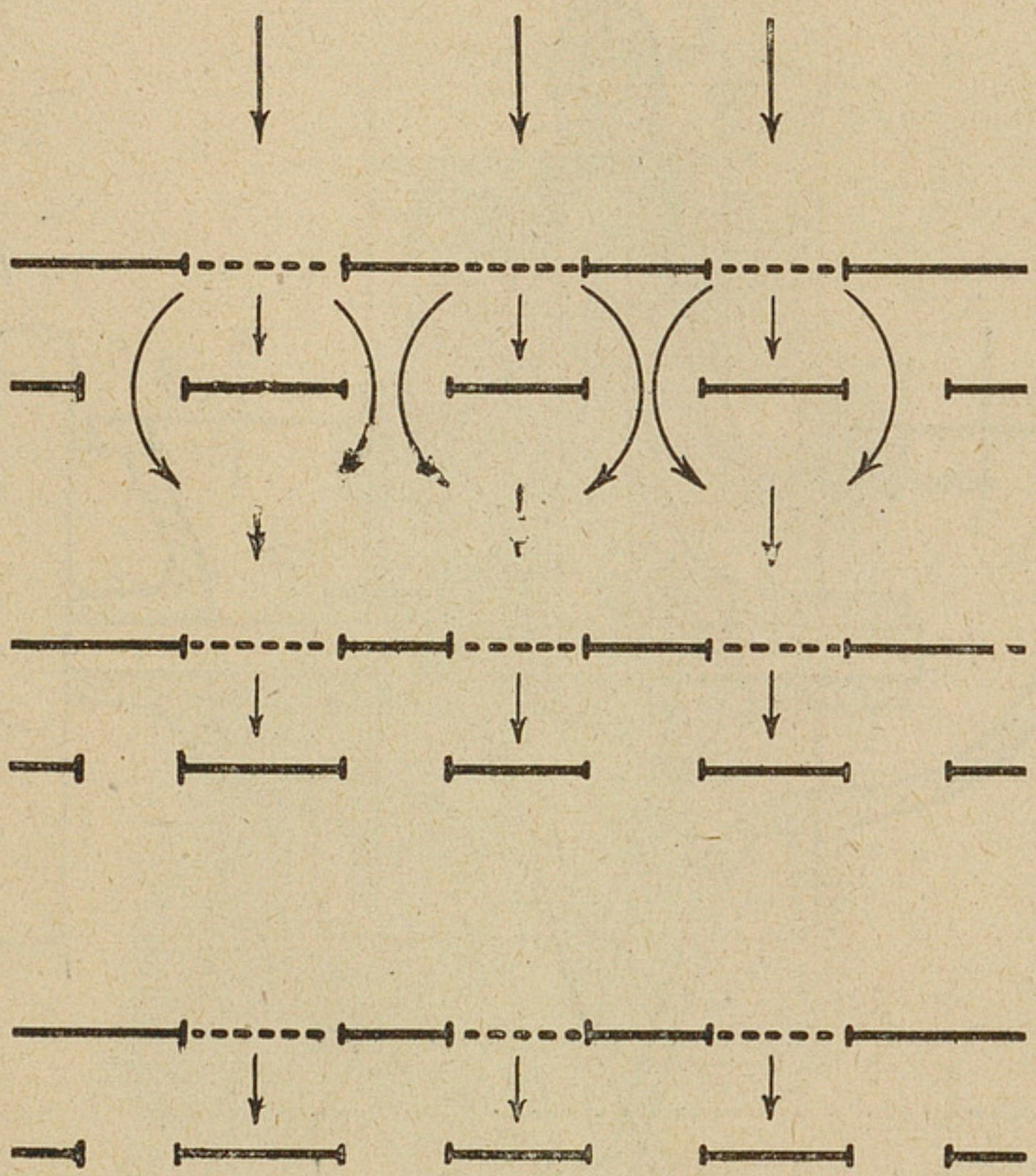


Fig. 94. — Séparateur Pelouze-Audouin.

jours son état vésiculaire infiniment petit, forme des millions de petits globes plus légers que le gaz lui-même, car le gaz qu'ils renferment est de l'hydrogène ; ce qui fait que toutes ces petites vésicules forment autant de petits ballons, qui flottent dans le gaz des gazogènes, bien plus encore que dans le gaz de distillation, dont la densité n'est pas la moitié de celle des gaz de gazogènes ; donc plus un gaz est dense et lourd, plus la condensation du goudron y sera difficile ou impossible sans la destruction des vésicules par la fusion de leurs enveloppes ».

L'habile ingénieur concluait à la nécessité de rompre les vésicules par des chocs répétés et énergiques, et il construisit son épurateur à chocs, dans lequel le courant gazeux, divisé en lames minces, venait heurter une cloison métallique mouillée ;

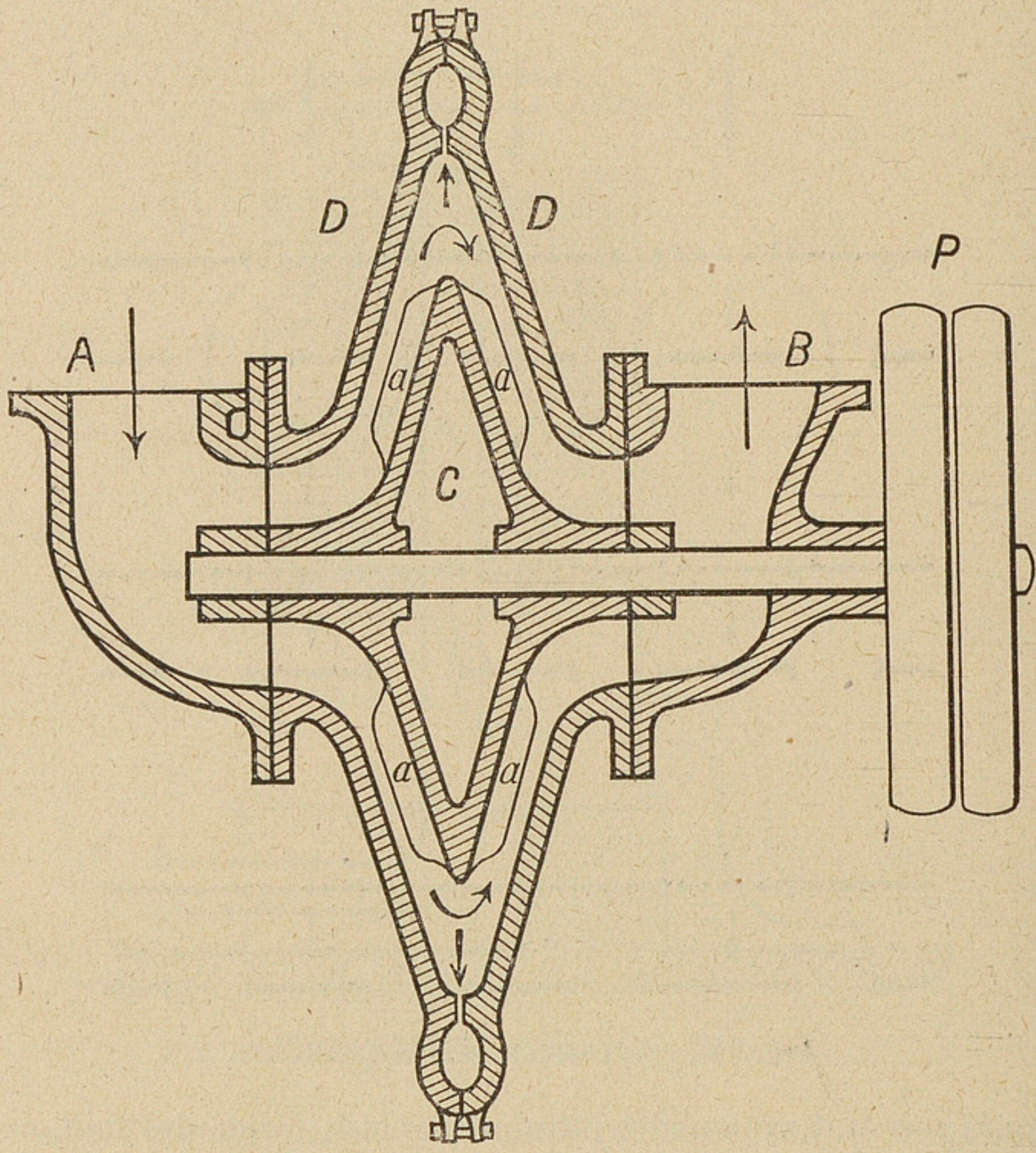


Fig. 95. — Epurateur centrifuge Crossley.

le gaz rétrogradait ensuite, alors que les vésicules ou les poussières restaient adhérentes à la paroi.

C'était une nouvelle application du principe de l'appareil Pelouze-Audouin, depuis longtemps en service dans les usines à gaz.

Le séparateur Pelouze est représenté schématiquement par la

figure 94, dans laquelle on voit se succéder des parois parallèles dont les ouvertures sont décalées les unes par rapport aux autres, de sorte que les veines gazeuses sont incessamment brisées et déviées de leur chemin. Il est évident que ce dispositif

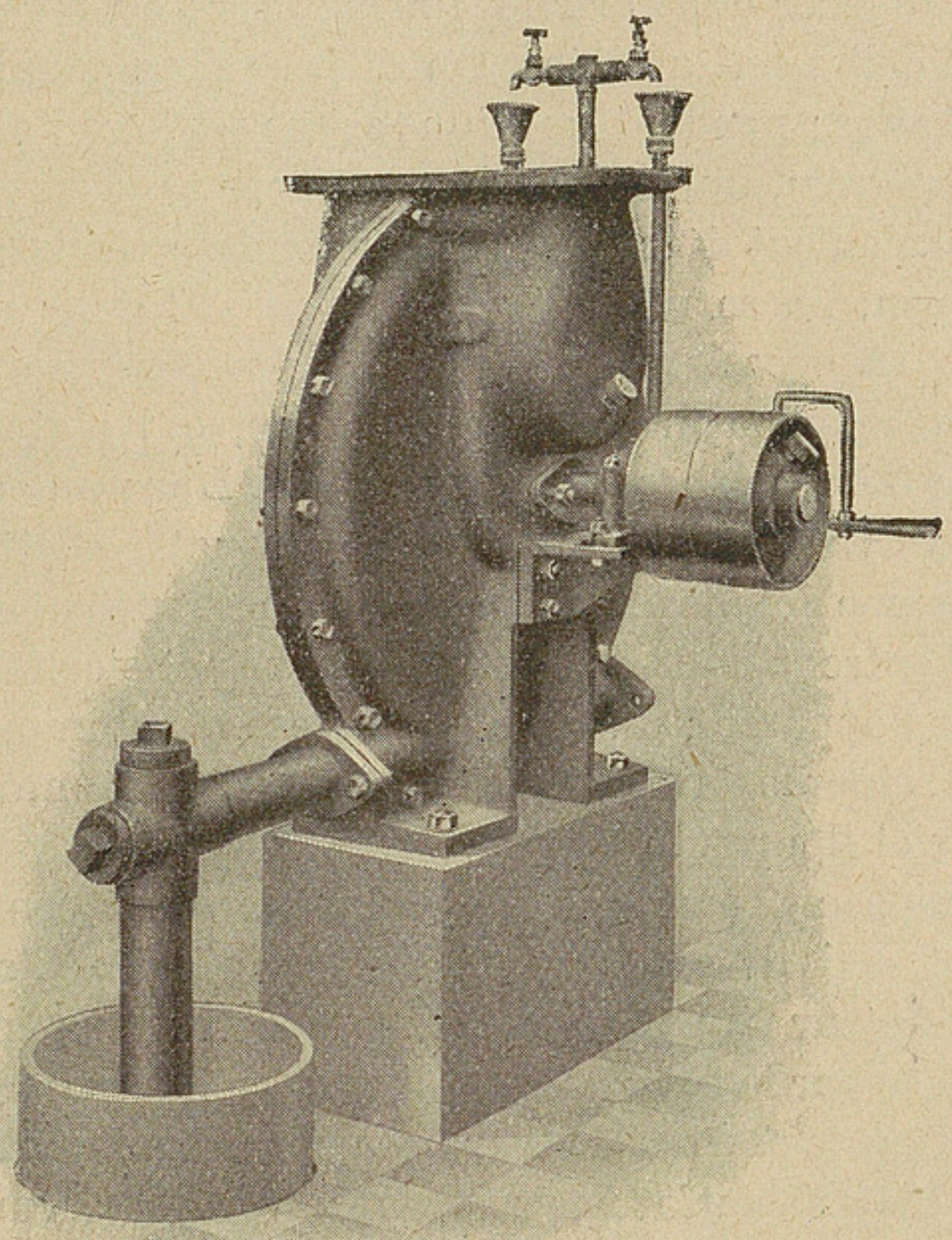


Fig. 96. — Vue extérieure de l'épurateur Crossley.

peut être réalisé de mille façons différentes, que de nombreux inventeurs se sont ingéniés à découvrir et à redécouvrir l'un après l'autre : je ne peux m'engager dans la description de ces appareils, auxquels les traités spéciaux réservent de nombreuses figures et d'abondantes descriptions. Je me contenterai de dire qu'il est des séparateurs Pelouze qui permettent de traiter 2.500 mètres cubes à l'heure.

La nécessité des chocs est reconnue de tous : on ne diffère que par les moyens auxquels on accorde la préférence.

Une ingénieuse idée est celle des brosses métalliques analogues à un goupillon, enfermées dans une boîte cylindrique, entre les brins de laquelle le gaz est obligé de se glisser : en les faisant tourner dans leur logement, on les débarrasse des matières qu'elles ont arrêtées. On dispose d'un couple de brosses de rechange ; pendant que l'une est en service, l'autre trempe dans le pétrole, qui dissout les goudrons.

Lorsqu'on eut découvert l'efficacité des ventilateurs à injection d'eau, on se mit à inventer des appareils rotatifs plus simples et occasionnant une moindre dépense de travail. Letombe imagina un appareil centrifuge, qu'il n'était pas nécessaire de faire tourner à grande vitesse. Dans une caisse cylindrique verticale tourne un moulinet à quatre ailettes ; son axe traverse une douille du couvercle et repose sur une crapaudine ; les gaz entrent dans la caisse par le bas et s'échappent par le haut de l'appareil ; un jet d'eau arrose constamment le moulinet et retombe dans un bassin inférieur. Cet épurateur est peu coûteux et il a rendu service.

La maison Crossley a établi un épurateur centrifuge plus agissant, mais de construction plus compliquée. C'est une sorte de ventilateur (fig. 95) à axe horizontal, dont l'enveloppe est constituée par la réunion de deux cônes, boulonnés l'un contre l'autre, sur la section de leur base ; la pièce mobile a la même forme, mais sa surface est garnie de fortes nervures radiales, qui entraînent les gaz dans leur mouvement, les brassent énergiquement avec l'eau et émulsionnent les goudrons. Les gouttelettes liquides projetées contre les parois intérieures du cône-enveloppe sont recueillies dans une rigole, pratiquée dans les collerettes des bases ; on les évacue après qu'elles se sont assemblées dans un canal collecteur.

Ces derniers appareils ne conviennent plus aux petites installations : celles-ci peuvent s'en passer, sauf dans quelques cas spéciaux, et alors elles tiennent peu de place, ainsi que cela se voit sur la figure 96, qui représente une installation de 400 chevaux.

Les caisses plates représentées sur la photographie peuvent

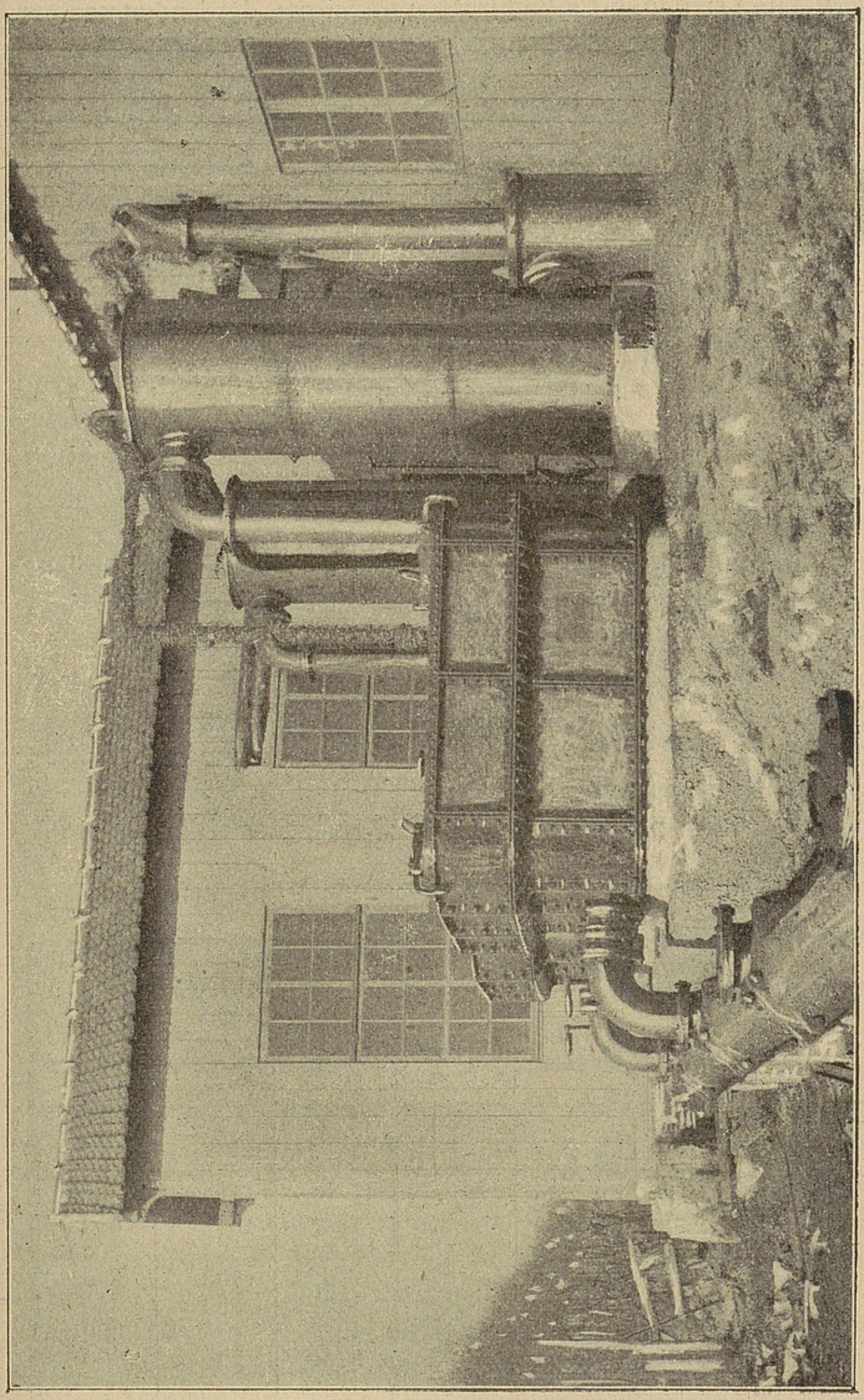


Fig. 97. — Installation d'épuration de gaz pauvres.

servir non seulement à l'épuratiou physique, dont nous venons de parler, mais aussi à l'épuration chimique, laquelle s'impose souvent.

Il s'agit d'arrêter l'ammoniaque et les acides sulfhydrique, cyanhydrique, sulfocyanique, etc.

La sciure de bois humide retient déjà l'ammoniaque qui a pu s'échapper au lavage. On mêle aussi la sciure d'oxyde ferrique de chaux et de sulfate de calcium ; ce mélange se prépare en précipitant une solution de sulfate ferreux par un excès de chaux éteinte et en exposant le tout à l'air. L'acide sulfhydrique donne de l'eau et du sulfate de fer ; les autres acides, du ferrocyanure ferreux. Au bout de quelque temps, ce mélange cesse d'agir ; on le revivifie alors en l'étalant sur une aire plane et on le remue au contact de l'air, qui oxyde le sulfure de fer et transforme le ferrocyanure ferreux en ferrique. La substance devient de plus en plus bleue ; quand elle a pris franchement la couleur de bleu de Prusse, on la vend à des spécialistes, qui en extraient des cyanures.

La matière Laming ne diffère guère du mélange que nous venons de dire : elle a l'avantage d'être dans le commerce.

L'épurateur de la figure 98 est plus spécialement construit en vue de l'épuration chimique.

Il peut être utile de reproduire ici quelques chiffres donné par Hæder.

GAZÉIFICATION par heure	SCRUBBER			ÉPURATEUR A TROIS CLAIES		
	Diamètre	Hauteur	Diam. du tuyau de gaz	Longueur	Largeur	Hauteur
	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m
5,7	500	1.670	60	800	375	450
9,2	550	1.730	80	900	400	500
15	650	2.180	90	1.050	500	600
21	700	2.230	125	1.250	550	700
36	850	2.600	150	1.525	700	800
50	900	2.900	175	1.625	800	850
67	970	3.200	200	1.750	875	900
99	1.100	3.600	250	2.000	900	1.000

Les installations du genre Mond sont de véritables usines, dans lesquelles on aurait peine à dire quel est le produit et quel est le sous-produit : il en sort du gaz, des goudrons et des produits ammoniacaux.

J'ai dit ci-dessus que le principe du procédé consiste à mar-

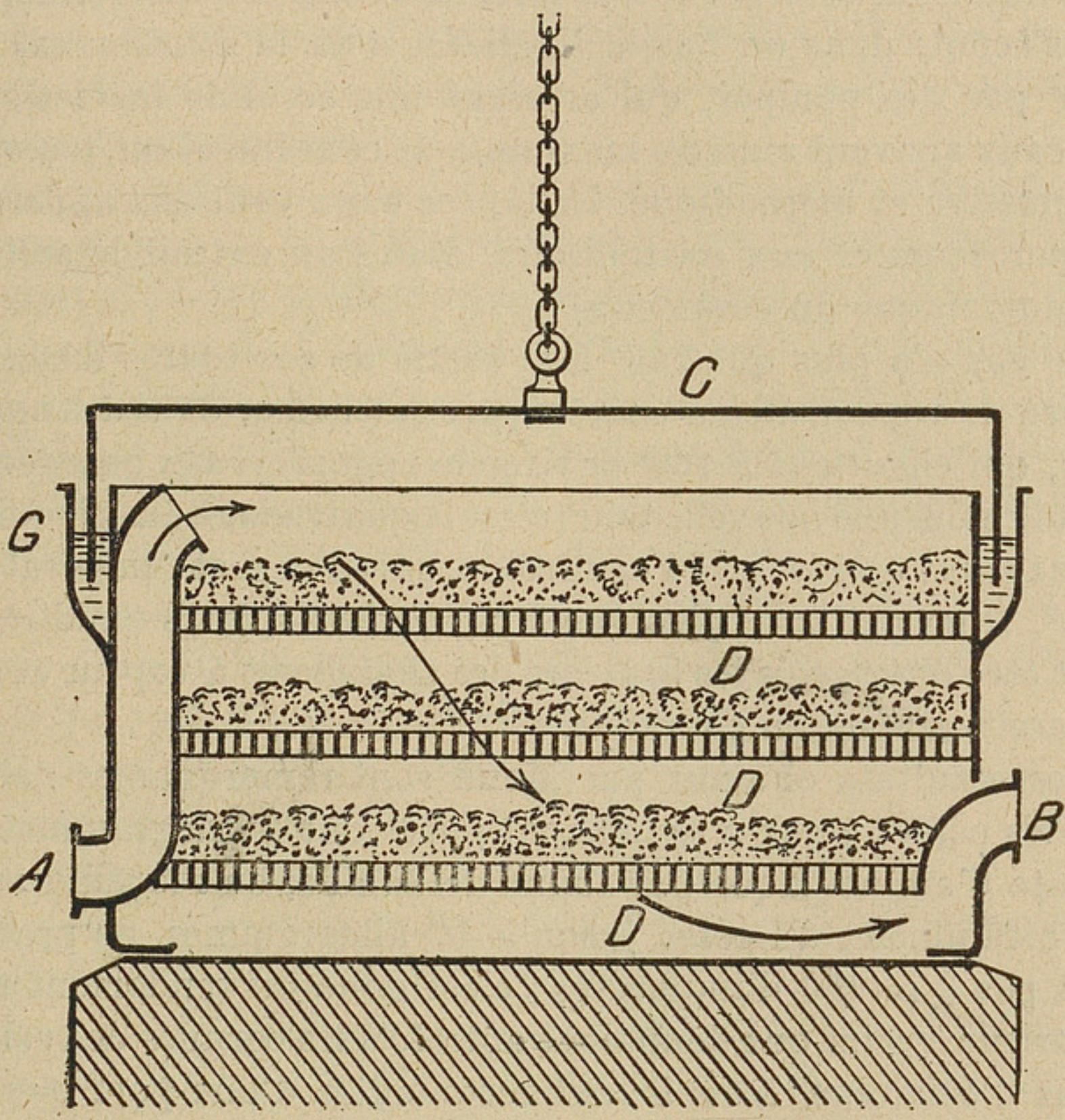


Fig. 98. — Epurateur chimique.

cher à basse température avec un grand excès d'eau : au lieu de fournir 400 grammes de vapeur d'eau par kilogramme de houille, on jette dans la cuve du gazogène jusqu'à 2.500 grammes de vapeur. Les gaz produits sont utilisés pour le chauffage des chaudières, des fours et des appareils à réactions chimiques ; le reste est utilisé en moteurs à gaz.

Dans une grande usine d'Angleterre, utilisant le procédé Mond, la suite des opérations se déroule conformément au schéma ci-dessous.

Une conduite générale recueille les gaz des gazogènes. Cette canalisation les amène au pied d'une tour élevée, à courants d'air opposés, où ils abandonnent leurs poussières.

De là, ils passent dans deux autres tours, remplies de briques en grès vitrifié, arrosées d'une pluie d'acide sulfurique ; les gaz et le liquide se croisent et il se forme du sulfate d'ammoniaque, qui s'écoule dans un bassin inférieur, d'où la solution est reprise par des pompes, qui arrosent une seconde fois les gaz. Ces eaux arrivent ainsi au maximum de concentration, par voie progressive et méthodique. De là, ces eaux vont aux appareils évaporateurs et aux cristallisoirs, d'où l'on extrait le sulfate d'ammoniaque du commerce.

Le gaz n'a plus que 250° à la sortie de ces tours ; il en sort saturé de vapeur d'eau. On récupère sa chaleur dans des appareils, qui chauffent à 100° environ le vent servi aux gazogènes.

Suit alors une nouvelle tour (c'est la quatrième), dans laquelle le gaz subit un lavage à l'eau froide, qui abaisse sa température à 25°. Il ne renferme plus que 2 p. 100 en poids d'humidité, et peut être dirigé vers les brûleurs des chaudières à vapeur et des appareils à réaction chimique.

Les résultats obtenus par Mond sont remarquables : alors que les usines à gaz n'obtiennent guère que 8 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque par tonne de houille, on recueille avec des bitumineux d'Ecosse jusqu'à 40 kilogrammes, ne présentant pas 3 p. 100 d'impuretés ; c'est donc un rendement très supérieur à celui que donnaient autrefois les cornues des usines à gaz d'éclairage. Mais il faut reconnaître d'une part que les usines ont amélioré leur fabrication, et que, d'autre part, les houilles traitées par Mond présentaient des qualités exceptionnellement favorables. Ceux qui ont transporté sur le continent le procédé des chimistes anglais ont appris par une douloureuse expérience que tous les charbons ne conviennent pas à ce procédé. Disons encore que les prix des houilles d'Ecosse sont restés fort longtemps très bas.

Cette étude nous conduit à l'examen des procédés d'épuration du gaz des fours à coke.

C'est en Allemagne que nous irons maintenant pour nous instruire : il y avait avant la guerre, de l'autre côté du Rhin,

des installations grandioses, dans lesquelles les cuves d'épuration développaient des centaines de mètres carrés et qui alimentaient des moteurs de quelques milliers de chevaux. A la mine Alsdorf, de la Société d'Eschweiler, la puissance des moteurs atteignait 15.000 chevaux; on épurait par vingt-quatre heures près de 200.000 mètres cubes de gaz. Presque seules en France, les usines de Lens, odieusement détruites par le barbare raffinement des ennemis, s'apprêtaient à développer leur usines de cokification.

Le gaz de four à coke doit être nettoyé et lavé, puis dépouillé de ses goudrons ; il est nécessaire aussi, pour l'usage en moteurs, d'arrêter l'acide sulfhydrique et le sulfure de carbone, car il se produirait de l'acide sulfureux, puis de l'acide sulfurique, qui attaquerait les métaux ; il n'y a que le nickel et l'acier au nickel qui lui résistent. Quant aux cyanures, ils donnent naissance à de l'acide azotique, qui ronge les gazomètres, les canalisations de gaz et les cylindres des moteurs.

L'ordre des opérations de purification des gaz de fours à coke varie d'un établissement à l'autre, mais on peut admettre la série qui suit, comme généralement adoptée.

Refroidissement par courants d'air.

Refroidissement à courant d'eau.

Séparation complète des goudrons.

Lavage pour récupération du cyanogène, de l'ammoniaque, de l'hydrogène sulfuré et du benzol.

Impossible d'entreprendre ici une description détaillée des voies et moyens adoptés pour remplir ce programme le mieux possible : je me contenterai de quelques indications générales que le lecteur suivra sans peine, étant donné que ces questions ont déjà été examinées plus haut.

Il faut d'abord abaisser la température des gaz au voisinage de 100° : on y arrive par des appareils à circulation d'air. Un engin communément employé, et qui est resté innommé, se compose d'un réfrigérant annulaire, que l'air traverse et entoure, le gaz circulant dans l'anneau formé par deux cylindres concentriques : on complète quelquefois son action par un jeu d'orgue.

Ce premier refroidissement arrête déjà une partie des goudrons.

Viennent ensuite des réfrigérants à circuit d'eau, disposés en série ; ils ressemblent à des chaudières tubulaires, les gaz passant par les tubes et l'eau circulant autour d'eux. On donne à ces appareils un grand développement ; ainsi les auteurs allemands parlent de surfaces de refroidissement de un mètre carré et demi par 100 mètres cubes traités en vingt-quatre heures.

On a évidemment cherché à réduire les dimensions de ces rafraîchisseurs en augmentant leur action, par toutes sortes d'artifices, plus ou moins dûment brevetés, pour lesquels le Patent-Amt était généreux et coulant, du moins pour ses nationaux.

La maison Zschocke (déjà nommée) a construit un système à serpentin, par lequel on a réussi à réfrigérer par jour 150.000 mètres cubes de gaz par une surface de 300 mètres carrés et à faire descendre leur température au voisinage de celle de l'ambiant. Dernièrement, on a pourvu la mine westphalienne Deutscher Kaiser d'un Zschocke de 400.000 mètres cubes.

Les goudrons qui échappent à cette opération seront captés maintenant par des séparateurs du genre Pelouze, plus ou moins habilement démarqués : on leur a donné en certains endroits des dimensions « colossales ». C'était leur plus remarquable originalité. Mais ne devient pas grand qui veut : la grenouille l'a appris, à ses dépens.

Les gaz sont-ils enfin débarrassés de tous leurs goudrons ? Nullement. Or, une teneur de quatre centigrammes par mètre cube peut quelquefois causer des ennuis dans les moteurs. Il faut donc parachever le travail d'épuration,

On aura recours au classique scrubber. sur la description duquel nous ne reviendrons pas ; il subira quelques adaptations particulières, mais ce sont surtout ses dimensions qui se développeront. On voit aujourd'hui des colonnes de 10 mètres de hauteur et de 3 mètres de diamètre.

La maison Zschocke a fait usage d'empilages en bois, formés de planches mises de champ et superposées conformément au dessin de la figure 99. Les planches sont taillées en coins pour faciliter le mouvement du gaz et multiplier les surfaces de contact avec l'eau, qui ruisselle le long des bois. Ce dispositif a permis de laver 150.000 mètres cubes par jour en ne dépensant que 30 mètres cubes d'eau.

La dissolution ammoniacale obtenue au scrubber est assez riche, car elle tient environ 15 grammes d'ammoniaque par litre.

Un scrubber à billes de verre, arrosées d'huile de goudron, arrête le benzol qu'il y a intérêt à retenir à cause de sa valeur vénale.

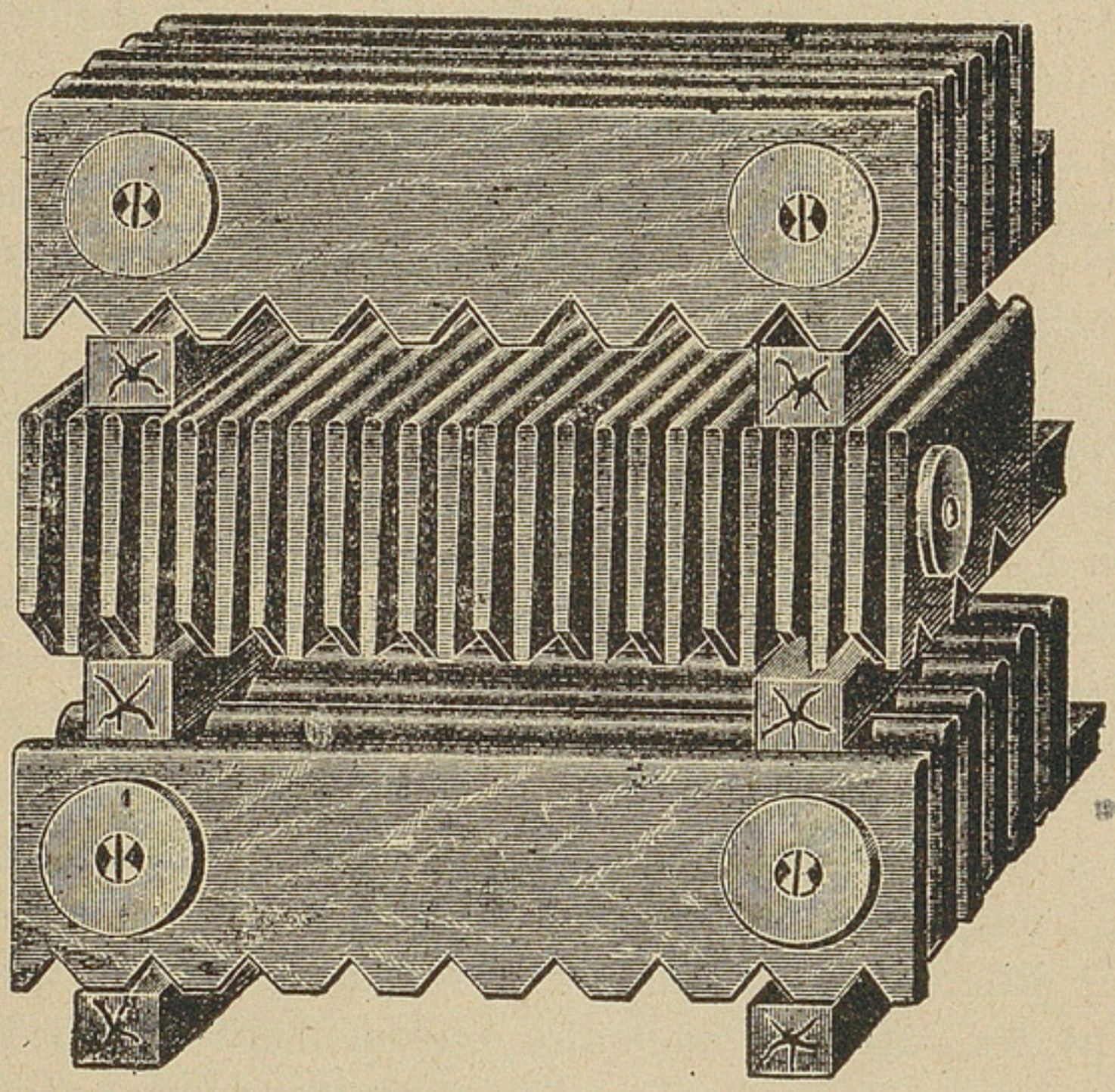


Fig. 99. — Scrubber Zschocke.

Des laveurs à boulets, d'autres laveurs rotatifs et diverses créations plus ou moins originales ont aussi été essayées : on ne tient guère compte de la puissance absorbée pour les mouvoir, étant donné que les moteurs à gaz procurent de larges excédents, dont on n'a pas toujours l'emploi.

Le gaz a laissé maintenant en route presque tous ses goudrons, le benzol, ses carbures solides, ses sels ammoniacaux, son hydrogène sulfuré, etc. : une dernière épuration chimique s'impose toutefois encore.

Ces épurateurs ne diffèrent de ceux que nous connaissons

que par leur grandeur : nous retrouvons la matière Laming et ses claies. On s'impose de ne donner qu'une vitesse de 5 à 10 millimètres par seconde au gaz à la traversée des couches ; il en résulte la nécessité de multiplier les surfaces de claies. L'épaisseur des couches atteint 1 m. 50. Des agitateurs enpêchent le tassement des matières ; on a imaginé des espèces de persiennes pour diviser les masses et les empêcher de former bloc. D'ailleurs des exhausteurs convenablement disposés assurent la continuité du mouvement des veines gazeuses.

On a essayé, sans grand succès, l'épuration humide : les gaz traversaient de nouveaux laveurs renfermant de l'eau chargée d'oxyde de fer hydraté à l'état de grande division, dans lesquels il se précipitait du sulfure de fer. Un séchage du gaz s'imposait à la suite de ces laveurs.

L'épuration chimique est une opération délicate, difficilement réglable, exigeant beaucoup d'espace, s'effectuant lentement : c'est un des soucis des directeurs de cokeries. Et pourtant cette épuration s'impose pour la bonne marche et la conservation des moteurs (1).

L'épuration des gaz de hauts-fourneaux présente des difficultés d'un autre ordre.

Ici les difficultés du problème à résoudre ne viennent plus des goudrons, mais des poussières. Celles-ci sont de masse extrêmement différentes, les unes assez lourdes pour être arrêtées aisément, les autres au contraire extrêmement ténues constituant une sorte de sublimé, qui traverse tous les obstacles et les filtres accumulés sur sa route. Ce sublimé ne se laisse pas mouiller ; on a dit que l'eau coule dessus comme sur les plumes des oiseaux aquatiques, et l'image est exacte. Il faut le broyer dans l'eau tiède pour arriver à l'émulsionner : c'est ce que fait

---

(1) Les usines d'épuration produisent du benzol et des huiles de goudrons, que l'on extrait des goudrons par une distillation fractionnée. Celle-ci s'opère dans des chaudières et des serpentins, analogues à des alambics. On recueille à part des huiles légères volatiles entre 35° et 150°, de densité 0,84 (des benzènes), puis des huiles à 0,90, passant entre 150° et 200° (des phénols) et enfin des huiles lourdes (anthracènes, acénaphtalines, etc.). Ces derniers produits ont été mis en valeur par le développement des moteurs Diesel et semi-Diesel.

très bien le ventilateur-laveur dont j'ai déjà signalé l'action énergique et la remarquable efficacité. On injecte le liquide dans les œillards par deux jets, au taux de 2 litres par mètre cube de gaz ; souvent on monte deux ventilateurs à la suite en série ; ils remplissent le double office de purificateurs et d'exhausteurs. Il faut donner à ces appareils une énorme vitesse angulaire et développer environ 80 mètres à leur périphérie. La puissance absorbée n'atteint pas 100 chevaux dans une installation qui fournit 7.000 chevaux par ses moteurs : cela fait environ du 1,5 p. 100. On se tire d'affaire à peu de frais et à bien meilleur marché qu'avec les chicanes d'antan, les jeux d'orgue immenses, les laveurs gigantesques, les matelas filtrants, les caisses d'épuration et le reste.

Une précaution indispensable est à prendre : c'est que la pression du gaz ne tombe nulle part au-dessous de la pression atmosphérique dans les collecteurs et les branchements qui les suivent. C'est le moyen d'éviter de redoutables explosions.

Lencauchez a démontré par d'intéressants calculs que, pour un groupe de sept fourneaux, produisant chacun 100 tonnes par vingt-quatre heures, consommant environ 840 tonnes de coke, on engendre près de 4 millions de mètres cubes (à 0° et 760 millimètres), exigeant 8.640 mètres cubes d'eau de lavage.

Les poussières sublimées donnent une eau onctueuse et mousseuse, dont la clarification est extrêmement ingrate. Leur propriété colmatante ne permet pas de les filtrer ; force est de recourir à une décantation graduelle et méthodique dans une série de bassins. L'eau à décanter arrive par le centre et s'échappe à la circonférence, avec une vitesse qui doit être très faible. Si l'on admet que les turbines laveuses reçoivent trois grammes de fines poussières impalpables par mètre cube, la quantité de boues à décanter par journée de vingt-quatre heures sera de 12 tonnes et chaque mètre cube d'eau entraînera 1200 grammes de boues. L'eau est recueillie dans six bassins, dont cinq toujours en service, le sixième en nettoyage ; ils servent non seulement de décanteurs, mais encore de réfrigérants. La surface totale d'évaporation est d'environ 3.500 mètres carrés. Les bassins sont installés en cascade ; l'eau se clarifie progressivement en passant de l'un à l'autre. Le premier bassin

étant à moitié plein de vase, on le met hors de service, et le deuxième devient le premier. Le bassin en vidange est débarrassé de son eau et on le vide au moyen d'une drague, qui déverse le solide dans des wagonnets, qui le conduisent à un dépôt général, où il s'accumule rapidement.

Comme le sublimé renferme jusqu'à 6 p. 100 de sels de soude et de potasse, on pourrait retirer des eaux par concentration 600 kilogrammes de salin dont la vente laisserait un bénéfice sérieux, après déduction de tous les frais : Lencauchez l'évaluait à 45.000 francs par an dans les conditions susdites.

Ces détails intéresseront sans doute le lecteur ; ils ne sont pas étrangers à mon sujet, puisque le haut-fourneau est le plus remarquable des gazogènes.

CHAPITRE IX

LES APPLICATIONS

La transformation des combustibles industriels en gaz combustibles est une opération dont les avantages sont connus depuis des années, que d'éminents ingénieurs ont préconisée sans se lasser, vers laquelle l'attention générale s'est reportée depuis la guerre avec une faveur inespérée, qu'il faudrait se garder de pousser jusqu'à un engouement excessif, mais dont on peut attendre certainement les meilleurs résultats.

Les exposer, c'est faire l'éloge du gazogène, le remarquable appareil auquel j'ai consacré ces pages (1).

Multiples et variées sont les applications des produits divers de la gazéification.

Je les rangerai sous trois rubriques distinctes, dans lesquelles il me sera possible de classer les principaux et meilleurs emplois des combustibles gazeux, avec ordre et méthode, comme il convient, et dans l'intention d'éviter la confusion qui pourrait naître d'un trop grand désir d'être complet.

I. — L'ÉCLAIRAGE

Lorsque Philippe Lebon prit son brevet de *thermolampe*, en 1801, il spécifiait la création de « poëles qui éclairent et chauf-

(1) J'ai discuté ces intéressantes questions dans un petit ouvrage intitulé *La Crise du combustible et ses remèdes* (Paris, Doin, 1920), et je

fent avec économie et offrent avec plusieurs produits précieux une force motrice applicable à toutes sortes de machines. » Le génie clairvoyant de cet ingénieur avait embrassé d'un coup d'œil, le coup d'œil de l'aigle, le vaste champ d'utilisation que son invention ouvrait à la transformation de la houille et du bois en un gaz dont la flamme était riche en énergie lumineuse et calorifique, et devait devenir une source d'énergie mécanique.

Ce sont les radiations lumineuses qui ont été utilisées les premières. Le gaz de houille sorti des cornues de distillation présente la propriété de donner une flamme chaude, dans laquelle sont suspendues des particules de carbone, qui deviennent incandescentes et par suite lumineuses. En laissant échapper le gaz par des fentes, ou des trous étroits, avec une faible vitesse, donc sous faible pression, on obtenait des effets dont on se déclara longtemps satisfait, mais que nous trouvons aujourd'hui bien misérables, auprès de ce que l'on a obtenu depuis, avec le même gaz.

Le bec bougie, à trou circulaire et flamme à l'air libre, donnait au mieux la carcel, c'est-à-dire les dix bougies décimales, par 123 litres.

Le bec Manchester, à deux trous inclinés l'un sur l'autre, et le bec papillon à fente d'un demi-millimètre, formaient une flamme plate, d'un rendement encore médiocre.

Aimé Argand adopta la couronne de trous et enferma la flamme d'air dans une cheminée de verre, un panier de porcelaine limitant l'afflux d'air. Le bec Bengel, établi sur ce type, consommait 105 litres par carcel. Avec une double couronne, Messmer réduisit la consommation à 77 litres, dans des appareils intensifs, brûlant près de 500 litres à l'heure.

Le groupement de plusieurs papillons dans un même globe a conduit à de brillantes sources de lumière, que les contemporains ont admirées : tel le brûleur de la ville de Paris, dit du Quatre-Septembre : le rendement restait néanmoins médiocre.

Déjà, en 1836, Chaussenot avait préconisé un bec à récupé-

---

me permets d'y renvoyer le lecteur désireux de trouver la solution du grave problème de l'heure présente.

ration de chaleur, que la Société d'encouragement favorisa d'une médaille, mais qui resta ignoré du public jusqu'au jour où les frères Siemens le réinventèrent. Ils obtinrent la carcel par 33 litres dans des brûleurs développant 50 carcels. Tout le monde s'y mit alors, Wenham, Cromartie, Danichewski, Sée, etc., etc. Les petits modèles consommaient 75 litres par carcel, quand ils étaient neufs, propres et bien réglés.

Je rapporte ces chiffres à l'intensité sphériqne moyenne des brûleurs ; l'inclinaison du rayon le plus intense varie de 30 à 60 degrés sur l'horizon.

Le Français Clamond et l'Autrichien Auer révolutionnèrent l'industrie de l'éclairage par l'invention de becs, dans lesquels le gaz brûle avec un grand excès d'air, comme dans un brûleur Bunsen, en portant à l'incandescence des matières réfractaires : c'est l'Autrichien qui a décroché la timbale, en imprégnant des capuchons de coton de sels de zircone, de didyme, de lanthane, de cérium, etc. Du coup, les rendements furent triplés, et l'on connut les becs de 2,8 carcels, consommant 76 litres à l'heure, soit 25 litres par carcel-heure.

Les becs Auer se posèrent en brillants concurrents de l'éclairage électrique (même de l'arc voltaïque), dont ils retardèrent pendant plusieurs années le progrès.

Les gaziers semblent avoir épuisé les moyens d'améliorer la combustion de leur gaz, mais ils sont en bonne voie pour perfectionner encore ses moyens de production, et c'est aux gazogènes qu'ils doivent leur succès dans cette direction.

Le chauffage des cornues de distillation, bien plus encore que leur forme et leur disposition dans les fours, a reçu des perfectionnements considérables, dont j'ai parlé déjà ; je rappellerai seulement que l'application des gazogènes aux fours a procuré de grands avantages au point de vue de la durée des cornues, de la régularité et de la simplicité des opérations, de la rapidité de la cuisson des charges, de la qualité du coke et du rendement en gaz.

C'est un nouveau succès des gazogènes.

Les gazogènes de gaz à l'eau ont encore introduit de singulières améliorations dans la fabrication du gaz destiné à l'éclairage.

Le gaz à l'eau n'est pas doué d'un pouvoir éclairant, nous

avons vu pour quelle cause : il ne renferme pas d'hydrocarbures. Il faut donc lui en fournir, si on veut l'utiliser à l'éclairage.

J'ai dit qu'il y a deux manières de carburation en usage en Amérique, où est né le procédé. La carburation au benzol est d'une grande simplicité : on fait tomber dans une enceinte traversée par le gaz le carburant, débité goutte à goutte, en quantité voulue, pour obtenir le titre désiré.

Quand on carbure à l'huile de naphte, on produit à part le gaz d'huile, on le mêle au gaz à l'eau et l'on fixe le premier gaz sur le second par l'influence de la chaleur. On se sert à cet effet d'un dispositif inventé par Dellwik. Un four renferme deux rangées de cornues superposées chauffées à 700° ; l'inférieure reçoit le gaz à l'eau et l'huile injectée par une pompe ; le mélange passe dans la cornue supérieure dans laquelle a lieu la combinaison. Il faut 268 grammes d'huile par mètre cube ; on dépense dans l'opération 170 grammes de coke. A la sortie du four le mélange du gaz est reçu dans des scrubbers, avant d'être accumulé dans un gazomètre.

On carbure aussi par l'huile solaire, résidu de la distillation du pétrole de densité 0,85 à 0,95 ; il en faut 400 grammes par mètre cube.

Il existe encore un autre procédé, qui consiste à faire passer le gaz à l'eau à travers les cornues de distillation. Les résultats inespérés que donne cette manière de faire sont attribués à ce que, pense-t-on, le gaz à l'eau diminue la pression des carbures et empêche leur décomposition pyrogénée.

Les becs Auer se trouvent très bien d'un mélange de 40 p. 100 de gaz à l'eau avec 60 de gaz de houille ; un physicien d'outre-Rhin a même prétendu que le pouvoir lumineux d'un manchon Auer était augmenté de 21 p. 100.

Un mélange de 20 p. 100 de gaz à l'eau Kramer et Aarts a encore un pouvoir calorifique de 5.543 calories au mètre cube ; mais il s'agit d'un gaz de distillation extraordinairement riche.

L'adjonction de gazogènes au gaz à l'eau à une usine de distillation procure des avantages matériels et moraux.

Voyons quels sont les premiers. La rapidité de production du gaz à l'eau est quadruple de celle du gaz de houille : on

gagne donc une grande élasticité dans la puissance de production. A égalité de débit, les frais de premier établissement sont moitié moindres. On utilise une partie du coke, qui reste quelquefois si longtemps sur le carreau avant de trouver preneur. Enfin, on règle à volonté la richesse du gaz.

Les avantages moraux découlent de la facilité du travail imposé aux ouvriers : le système n'exige presque plus d'ouvriers spécialisés, ce que l'on appréciera en ces temps de grève endémique. Une équipe de 7 ouvriers quelconques produit 35.000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

L'oxyde de carbone toxique constitue le revers de cette brillante médaille. Il y a quelques années, l'écrivain de ces lignes a été traité d'assassin, d'empoisonneur public et de vil séide du capitalisme par la presse socialiste d'une commune du Nord, à laquelle il avait conseillé de mêler du gaz à l'eau au gaz de houille : c'étaient de bien gros mots dont il n'y avait pas à s'émouvoir. D'après M. Vivian Lewes, voici la différence de composition entre le gaz pur et le gaz mélangé de Birkenhead.

	Composition en volume		
	Gaz de houille pur	Gaz à l'eau pur	Gaz mélangé
	—	—	—
H.....	47,69	39,44	44,29
CO.....	5,99	29,03	14,49
CH^4	35,75	16,99	28,95
Hydrocarbures	4,88	8,23	6,74
CO^2	0	0	0
Az	4,76	6,20	4,46
O	0,95	0,21	1,06
Densité.....	0,549	0,647	

Le mélange renfermait donc moins de 15 p. 100 de CO ; or, très souvent, le gaz de houille des villes en renferme 12. A Birkenhead sa teneur avait presque triplé ; mais la toxicité du gaz n'avait pas triplé.

En Angleterre et en Amérique, où l'on connaît les règles de l'hygiène aussi bien que chez nous, et où elles sont infiniment plus respectées, on prohibe une teneur en CO supérieure à

20 p. 100 ; jusque-là les gaziers ont une entière liberté de mêler du gaz à l'eau au produit de leurs cornues (1).

Pour en finir avec ces questions d'éclairage, rappelons que l'on applique quelquefois à cet emploi le gaz des fours à coke, dûment épuré, ce qui n'étonnera pas notre lecteur après tout ce qui a été dit ci-dessus sur les ressemblances entre les usines à gaz et les cokeries à récupération.

Les chiffres suivants que j'emprunte à un travail de M. Kern, directeur de l'usine à gaz de Strasbourg, et qui présentent un vif intérêt de curiosité, me permettent de clôturer ce paragraphe. 100 kilogrammes de houille, occupant un volume de 150 décimètres cubes, donnent par distillation un volume égal à 200 fois celui du charbon, soit 30.000 litres de gaz, avec 70 kilogrammes de coke, cubant 200 décimètres cubes. Au gazogène, ce coke fournira 300.000 litres de gaz mixte, ce qui équivaut à 1500 fois le cube primitif du coke.

Le même ingénieur estime que les 750.000 calories des 100 kilogrammes de houille donnent 704.250 calories, qu'il décompose ainsi qu'il suit :

30 mètres cubes à 5.000 calories.....	150.000 calories
70 kilogrammes de coke à 7.300 calories....	511.000 —
5 kilogrammes de goudron à 8.650 calories.	43.250 —

II. — LE CHAUFFAGE

Les bonnes idées courent les rues. Comme de bonnes intentions, l'enfer des inventeurs en est pavé.

Les avantages de la combustion des combustibles pris à l'état de gaz sont devenus un lieu commun.

Reprenons les larges formules, signées du nom de tant de physiciens et d'ingénieurs.

---

(1) M. Sospisio, à qui j'emprunte la plupart de ces chiffres, a signalé au Congrès de l'Industrie du gaz de 1900 (page 452), un appareil Mazza, qui permettrait de dépouiller le gaz à l'eau d'une partie de son oxyde de carbone par la force centrifuge. Un trop grand excès de CO attaque le fer des tuyaux et produit du fer carbonyle, qui est nuisible à la conservation des manchons.

Dans le chauffage au gaz, on peut régler si bien les proportions relatives du comburant et du combustible et en opérer un mélange si intime, que l'on réalise une combustion complète, que ne donnent pas les solides (1) ; cette combustion conduira au meilleur rendement, attendu qu'elle s'effectuera sans excès de comburant, donc avec le minimum de pertes ; on produira de la sorte les températures les plus élevées possibles avec un combustible donné.

Le principe est net et énoncé sans ambiguïté ; il semble qu'il n'y ait aucune difficulté d'application, et pourtant on s'y emploie depuis de longues années et la perfection n'est pas atteinte.

Imprimer au courant d'air et de gaz qui se rencontrent des vitesses inégales, des directions différentes, assurer entre eux un contact intime et prolongé, éviter que la flamme ne heurte des surfaces froides, etc., telles sont les prescriptions faites et les résultats poursuivis. Siemens avait posé la loi dite du libre développement de la flamme ; il avait recommandé d'utiliser le plus possible son rayonnement. Le chauffage préalable de l'air et du combustible avait trouvé en lui (en William Siemens) un partisan convaincu ; il avait signalé les inconvénients des gaz trop humides. Il n'y a plus rien à dire sur le sujet. Je n'oserais affirmer qu'il n'y ait plus rien à faire.

Dès les premières années des usines à gaz de ville, ce gaz fut utilisé au chauffage : c'était si commode de n'avoir qu'un robinet à tourner et à frotter une allumette, qu'on oubliait les hauts prix de la calorie.

L'anglais Robison se fit un nom, en 1836, en inventant un brûleur, muni d'un diffuseur à toile métallique, qui fut honoré d'un élogieux rapport de Payen à la Société d'Encouragement. Sugg, Bunsen, Schlœsing, Fletcher, Wiesnegg, Berthelot lui-même développèrent le concept d'une combustion complète avec l'air strictement nécessaire, et améliorèrent progressivement les dispositions adoptées pour sa réalisation. Le brûleur

---

(1) Je ne parle que des solides massifs, car il est établi que l'on obtient des rendements remarquables à l'aide de charbons pulvérisés de toute nature, pourvu qu'ils soient finement porphyrisés.

Méker, le plus récent des brûleurs, apporta encore des améliorations heureuses et il est probable qu'on trouvera encore quelques détails à perfectionner.

Ces brûleurs perfectionnés ont fait la fortune des réchauds de toute forme, des rôtissoires, du chauffe-bains, des foyers d'appartement, à réflecteur, à boules ou à fibres d'amiante, à tubes réfractaires qui réjouissent l'œil et dégourdissent les membres, et sollicitent aujourd'hui les préférences d'une clientèle nombreuse et en somme facile à satisfaire, parce qu'elle ignore ce qu'elle a le droit d'espérer et d'exiger.

Les brûleurs sont à flamme blanche ou bleue ; on est convenu de dire que la flamme bleue est la plus économique, ce qui n'est pas absolument exact. Des expériences sérieuses ont démontré qu'en flamme blanche, donc sans excès d'air, la combustion est entière ; mais la flamme bleue, avec excès d'air, assure mieux ce résultat et le maintient. En règle générale, il n'y a pas lieu d'être satisfait d'un appareil qui donne de l'odeur (de suie ou d'acétylène), parce qu'il peut être soupçonné de produire de l'oxyde de carbone et du cyanhydrate d'ammoniaque : il est donc à la fois peu économique et anti-hygiénique (1).

On peut considérer comme bonne la règle qui suit de construction des brûleurs : diamètre de l'injecteur d'au moins un demi-millimètre ; section du tube mélangeur 15 fois plus grande ; longueur égale à 5 ou 6 fois son diamètre.

Les injecteurs en stéatite ont l'avantage d'être moins exposés à s'obstruer, parce qu'ils ne s'oxydent pas.

Dans les laboratoires, les réchauds et les grilles à charbon de bois des chimistes d'autrefois ont cédé la place aux rampes à gaz Wiesnegg, à flamme Bunsen, ou à brûleurs cloisonnés Méker, ou bien à becs Selas. Le four Perot permet de fondre la fonte de fer, le cuivre, l'argent et même l'or ; le chalumeau oxhydrique a servi à Sainte-Claire Deville et à Debray

---

(1) On se plaint souvent de ce que les appareils réglés pour flamme bleue s'enflamment à l'intérieur ; ce fait provient de ce que le mélange combustible d'air et de gaz arrive à l'endroit où il doit brûler avec une vitesse insuffisante, moindre que la vitesse de propagation de la flamme dans ce mélange. Il faut augmenter la quantité de gaz, si la pression le permet, pour que le courant prenne plus de vitesse.

pour leurs célèbres expériences de fusion du platine. Il y aurait aussi à parler des fours à moufle de divers systèmes, Selas, Vivez, etc, mais nous sommes obligés de nous borner.

Dans l'industrie, les émailleurs, les souffleurs de verre, les fabricants de perles et de faux rubis (dits synthétiques), sont aussi des clients du gaz de distillation. Le fer à souder au gaz est devenu d'un usage courant. Le grillage et le flambage des tissus, inauguré par Cook et Tulpin, fonctionnent bien au gaz de ville.

Ils s'accommodent bien aussi d'autres gaz.

Les brûleurs Béchevot (Ignis) sont construits spécialement pour employer les gaz pauvres, qui viennent supplanter en bien de ses applications le gaz de ville. De fait, ces gaz donnent des résultats identiques, et comme on les produit aisément et à bas prix, on les lui préfère souvent.

J'ai déjà fait ressortir en particulier les avantages marqués que présente le gaz à l'eau pour certaines opérations de soudure. La température de sa flamme est assez élevée pour fondre presqu'instantanément un fil de platine d'un millimètre de diamètre, et l'on obtient de très bons résultats au chalumeau, aussi bons qu'avec l'hydrogène et dans des conditions industrielles et économiques bien meilleures. En verrerie, où l'on a besoin de travailler à de hautes températures en milieu réducteur, on se trouve bien du gaz à l'eau, d'une épuration plus facile que le gaz pauvre. Mais le gaz pauvre fait merveille lui-même.

J'ai sous les yeux un catalogue admirablement illustré de MM. Pierson, constructeurs à Levallois, qui plaide éloquemment les mérites du gaz pauvre, en détaillant la remarquable variété de ses applications. Le soudage est peut-être son plus vaste et plus riche champ d'utilisation, et le prospectus énumère avec complaisance les usines où l'on chauffe, soude, étame et décore des boîtes de toute espèce : dans cette interminable liste, je vois des établissements où l'on produit jusqu'à 2.000 mètres cubes à l'heure. Les biscuiteries chauffent des fours et des fers à gaufrettes et sèchent les papiers d'empaquetage. Un chapitre porte le titre suggestif : chauffage de fours, trempe, brasage, forges, cémentation, recuit, étamage, galvanisation, émaillage et étuves. On y lit un curieux détail, qu'il faut rele-

ver : à la société de Montbard-Aulnoye on ne brûle pas le gaz pauvre, mais on s'en sert pour créer une atmosphère non oxydante dans le mouffle d'un four et dans la chambre de refroidissement qui lui fait suite. On cite ensuite des blanchisseries de linge où l'on chauffe au gaz des fers à repasser. Le gaz chauffe ainsi les machines linotypes, les moules et les presses à clicher des imprimeries ; il torréfie des tabacs et des cafés, il flambe des chapeaux de Panama, sèche des formes, conserve la température des apprêts ; que ne fait-il encore ? Toutes les industries sont devenues tributaires du gazogène. MM. Pierson répètent à satiété leur devise : « le gaz pauvre enrichit celui qui l'emploie » et nous ne demandons pas mieux que de les croire : toutefois, ils feraient œuvre utile à tous en donnant quelques chiffres précis d'essais de production et d'essais ; c'est une illustration d'un genre spécial, qui ne déparerait pas leur beau volume consacré aux gloires du gaz pauvre. La signature d'un ingénieur connu vaut une belle photogravure.

La production des gaz pauvres s'est développée d'une façon prodigieuse en ces dernières années ; le prospectus de l'ancienne maison Fichet et Heurtey (Fichet et Sauvageon), avait montré à Valentigny et à Terre-Blanche, dans les établissements Peugeot, une batterie de douze gazogènes produisant 6.000 mètres cubes à l'heure. A Chambéry, deux gazogènes engendrent chacun 1.000 mètres cubes à l'heure pour la société de l'Aluminium français.

Ce ne sont pas les seuls constructeurs français en renom, et la preuve s'en trouve dans les monographies nombreuses données ci-dessus, auxquelles je renvoie mon lecteur.

Pour la grande métallurgie, ce sont les frères Siemens qui ont fait école. Ledebur et Lencauchez fournissent de précieux documents sur la question.

Certaines opérations métallurgiques, telles que la fabrication de l'acier Martin et la fusion de l'acier au creuset n'ont pris naissance que grâce aux gazogènes Siemens, qui ont permis les premiers de réaliser les hautes températures qui leur étaient indispensables et de mettre en œuvre un grand nombre de calories.

Pour les fours Martin, on installait le gazogène, les empilages

et la valve d'inversion en contre-bas, en dessous du four. La fusion de l'acier au creuset, le puddlage, les fours à réchauffer et à souder s'effectuaient par la chaleur des gaz. Le four à puddler Springer était à deux soles, avec flamme réversible ; la fonte est fondue sur une sole, le puddlage se termine sur l'autre.

La cémentation de l'acier et l'émaillure des métaux s'opèrent aussi avantageusement dans les fours Siemens : les objets enduits de la composition nécessaire sont cuits dans des moufles.

Dans la métallurgie du cuivre, le four Siemens a été appliqué à la fusion des mattes et des scories. A Mulden, près de Freiberg, à l'usine à zinc, les fours à moufles sont aussi chauffés au gaz.

Les grands frais d'installation et d'entretien des premiers fours Siemens ont amené à serrer le gazogène contre les fours, pour n'avoir pas à réchauffer les gaz : il ne restait plus que deux régénérateurs pour l'air. Ledebur mentionne le four à puddler réversible de Pietzka et un four Pintch, comme exemples de ce type.

Le système de Biedermann et Harvey de réintégrer directement sous la grille du gazogène une partie des gaz brûlés aurait donné, en quelques usines, des économies de 50 p. 100 de combustible.

Puis on en est venu à supprimer totalement les régénérateurs et à chercher à chauffer l'air par les chaleurs perdues des conduites. Tel est le cas du four Boëtius, où l'air circule dans des carneaux ménagés dans les parois latérales et dans l'autel. Mais il faut reconnaître que les appareils de ce genre ne donnent plus lieu aux températures élevées qu'il faut dans un four Martin. Par contre, on peut pratiquer le grillage des minerais et la calcination de la chaux (1).

Les gazogènes qui alimentent un atelier Martin sont toujours installés dans un bâtiment voisin.

---

(1) Pour plus de détails sur la question, nous renverrons à l'ouvrage de Lencauchez, déjà cité plusieurs fois (*Etude sur les combustibles*), dans lequel on trouvera une description et des planches représentant les appareils suivants : Four pour seconde fusion chauffé au gaz ; Four à souder ; Four à puddler ; Four à réchauffer avec récupérateur Gaillard et Haillot ; Four à sole tournante Maudslay ; Four de Vaugirard (à gaz d'éclairage) ; Four de verrerie ; Four de réduction pour le sulfate de baryte, etc. Tous ces fours sont chauffés aux gaz.

Lencauchez a fait remarquer que, si les aciéries et les forges à fer fondu possédaient les fours à coke nécessaires pour l'alimentation en coke de leurs hauts-fourneaux, elles pourraient acheter des fines et des menus lavés dont les marchés d'approvisionnement sont plus certains et plus faciles à faire que ceux du coke ; car ce dernier combustible, en temps de hausse, arrive à des prix hors de proportion avec celui des houilles dites à coke ; il y a donc de ce côté une économie notable à réaliser. Mais si les fours à coke des hauts-fourneaux et des aciéries étaient à récupération de sous-produits, outre le goudron et les eaux ammoniacales qu'ils produiraient, ils pourraient être chauffés au gaz CO de gazogènes spéciaux utilisant les grésillons, et laisser disponible leur gaz riche de distillation. Ce gaz pourrait, par la très haute température qu'il est capable de développer, rendre de grands services, toutes les fois qu'un coup de feu serait utile pour dépasser les températures que les gaz des hauts-fourneaux et des gazogènes peuvent produire.

On pourrait consacrer de longues et intéressantes pages aux avantages de toute nature que procure dans les industries diverses que nous venons d'énumérer l'emploi des gaz : je les résumerai en peu de mots qui serviront de conclusion à ce paragraphe.

On obtient, dans de vastes espaces, des températures élevées, et il en résulte de remarquables facilités pour la coulée de l'acier, du verre à glace, etc. ; la durée des opérations est diminuée en même temps qu'augmente la production ; de plus, la multiplication de capacité a pour conséquence une réduction des surfaces de déperdition.

Les gaz procurent une uniformité de température dans un espace en quelque sorte illimité, ce que les foyers à grille sont incapables d'assurer. Quand ils sont bien lavés et exempts de poussières, il n'y a à craindre aucune altération des corps à chauffer et des parois des fours.

Mais voici sans doute le plus grand bénéfice qui ressort de la combustion des combustibles, sous la forme gazeuse : on réalise les plus hautes températures en se servant de combustibles impurs et inférieurs, de bas prix, qui ne pourraient être utilisés sur grilles. Le bois, la tourbe, le lignite nous manquent

moins en France que la houille, et, dans la crise terrible que nous traversons, ces auxiliaires suppléent dans une large mesure à ce que la Providence ne nous a pas accordé par ailleurs. Dans les Alpes, nous avons des gisements tellement cendreux

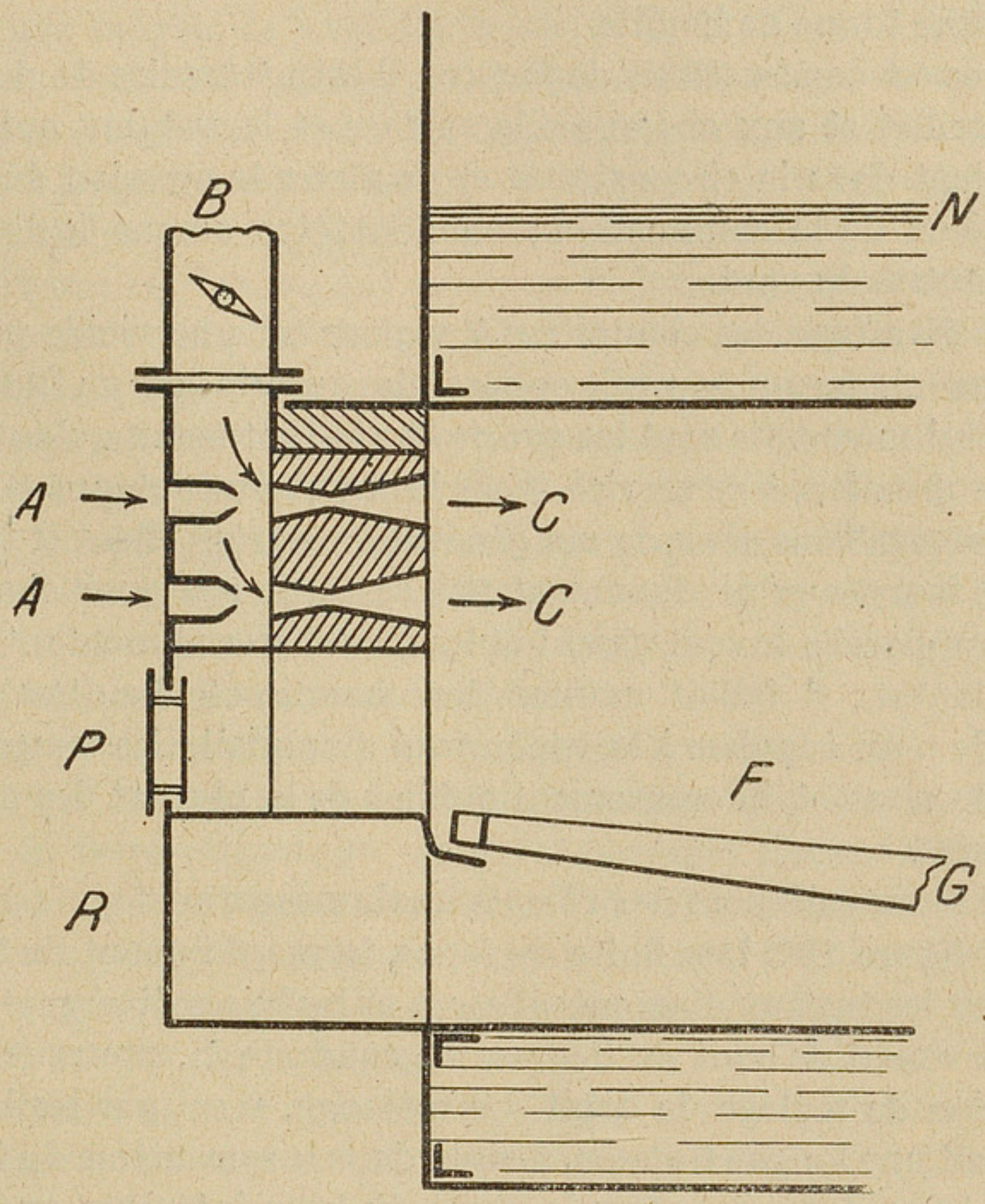


Fig. 100. — Brûleurs pour chaudières.

qu'il est difficile d'en faire usage sur grille, même en tirage forcé : on peut en tirer de bons gaz. M. Marconnet a gazéifié des poussiers schisteux à 65 p. 100 de cendres. Certains anthracites ne peuvent brûler sur grille, ou ne se prêtent pas à un service avantageux, par suite des flammes courtes qu'ils donnent : le gazogène s'en accommode à merveille.

Pendant la guerre, les Siemens des verreries ont surtout

marché au bois : on obstruait avec des briques à sec l'ouverture existant au-dessus des barreaux, sauf à les retirer au moment des décrassages : en y tenant une couche de braise de 50 à 60 centimètres, on évitait les rentrées d'air. La consommation était grande, mais non excessive : on comptait quatre stères de bois pour une tonne de houille.

Avec ces combustibles de fortune, il est nécessaire de donner aux grilles et aux chambres la surface et le volume qui leur convient dans la circonstance et de régler la pression du vent au mieux de la combustion ; on peut être amené à doubler la quantité du vent.

Le chauffage des chaudières à vapeur est une vieille pensée des ingénieurs ;on pourrait opposer des antériorités au Dr Beaufumé lui-même. Ce sont les gaz de hauts-fourneaux qu'on utilisa les premiers à ce service. Mais les résultats obtenus étaient médiocres. Tous ceux de ma génération se rappellent le temps où les fourneaux ne donnaient pas assez de gaz pour chauffer leurs appareils à vent chaud et les chaudières alimentant leurs soufflantes ; il fallait monter des chaudières chauffées à la houille pour suppléer à la vapeur qui manquait. Ces temps sont loin de nous et heureusement oubliés de la plupart des métallurgistes.

On se servait alors de brûleurs-chalumeaux analogues à ceux de la figure 100. Une boîte de fonte, formant l'avant du foyer, portait les tuyaux d'amenée d'air A et les buses divergentes B ; le gaz venait de haut en bas par la conduite B, pourvue d'un papillon de réglage de débit. Le mélange, servi par les buses, formait une longue flamme, dirigée dans le sens même du foyer, afin de ne pas rencontrer la paroi du tube intérieur au corps cylindrique : il importait en effet d'une part de ne pas refroidir la flamme par le contact d'un métal relativement froid, et d'autre part de ne pas faire chalumeau sur les tôles, ce qui aurait pu occasionner des coups de feu. Une grille G fermait le foyer à la partie inférieure ; on y allumait du feu pour les mises en route et on l'y entretenait pour rallumer le mélange, au cas où il se serait momentanément éteint. Le tirage, effectué par une cheminée d'appel, devait être assez énergique pour que la vitesse dans les tubes C ne tombât pas au-dessous de 6 mètres,

pour éviter des retours de flamme et des explosions. Une garniture de terre réfractaire protégeait les fontes contre le refroidissement consécutif au rayonnement. La porte P du foyer et celle du cendrier R permettaient au chauffeur de gouverner l'allure de son feu.

Un gaz moyen de haut fourneau (20H, 30 CO et $4CH^2$, pouvoir supérieur 960 calories au mètre cube), exige théoriquement 825 litres d'air pour 1000 de gaz ; on sert généralement les volumes à égalité, pour être sûr de ne pas priver les éléments combustibles de l'oxygène qui leur est nécessaire. Les buses de la figure 100 pouvaient produire un brassage assez complet des gaz entre eux pour donner lieu à une bonne combustion : si les résultats n'ont pas toujours répondu aux espérances des ingénieurs, c'était dû, sans doute, à une épuration insuffisante.

Avec du gaz pauvre, qui a besoin de 1.250 litres d'air p. 1000 de gaz, il fallait prendre plus de soins pour que les mélanges soient intimes. Beaufumé, Muller et Fichet et les autres avaient compris cette nécessité et recommandé des brûleurs qui divisaient mieux les deux éléments à combiner.

Leurs brûleurs affectaient des formes variées.

Le type le plus répandu était constitué par une sorte de tamis en terre réfractaire, dont les passages libres formaient tuyères. Il y avait généralement deux conduites parallèles alignées sous le corps cylindrique ou les bouilleurs On disposait une petite voûte réfractaire au-dessus pour essuyer le coup de feu produit par les dards de chalumeau.

Les lames minces alternantes de gaz et d'air devaient produire une bonne combustion. Ser donne la description d'autres modèles non moins satisfaisants. Le gaz vient par un tuyau vertical en montant ; il pénètre au milieu du fourneau par un conduit central et s'échappe latéralement des deux côtés par des fentes minces, ménagées dans des pièces réfractaires ; enfin il débouche dans deux conduits, placés au-dessous de chaque bouilleur. L'air arrive par deux autres conduits placés sur les deux côtés du fourneau, traverse les mêmes blocs réfractaires et forme lui aussi des jets aplatis qui brisent les jets de gaz ; la flamme heurte une voûte avant que les fumées ne se répandent dans les carneaux.

Les brûleurs se sont encore perfectionnés en ces derniers temps et le rendement des chaudières ainsi alimentées s'est amélioré : malgré cela, l'utilisation directe des gaz en moteurs est beaucoup plus parfaite ; avec de bons moteurs, on peut produire le kilowatt-heure au tableau par un mètre cube de gaz de four à coke : la meilleure installation de chaudière et de turbine à vapeur en dépense au moins le double. Ce n'est pas un échec des brûleurs : c'est un triomphe du moteur à combustion interne.

Toutefois un facteur nouveau est intervenu dans la question du chauffage des chaudières par les gaz, et le problème a reçu une solution brillante, qui pourrait modifier les manières de voir des industriels et troubler l'optimisme de quelques constructeurs de gazogènes, chargeurs mécaniques et de pulvérisateurs de charbon.

Je veux parler de la chaudière sans flamme.

Elle a été inventée par le professeur Bone de Leeds, par application d'une découverte faite dès 1816, par l'illustre chimiste Humphry Davy : ce maître avait constaté qu'un fil de platine, préalablement chauffé, puis introduit dans un mélange de gaz et d'air rendu inexplosible par manque d'air, devient aussitôt rouge et le reste jusqu'à ce que tout l'oxygène du mélange ait disparu. L'expérience est classique, sous le nom de lampe sans flamme. Fletcher y vit une action de catalyse et Bone a utilisé cette combustion catalytique en 1902, en remplaçant le platine par n'importe quel corps poreux réfractaire.

Dans ses premiers essais, M. Bone fit usage d'un caisson aplati dont une des faces était constituée par un diaphragme poreux de terre cuite. Il y lançait d'abord un courant de gaz pur, qu'il enflammait, puis il y ajoutait progressivement de l'air. La face réfractaire rougissait, mais sans qu'on y vit de flamme ; il se manifestait dès lors un rayonnement intense de chaleur, qui se maintenait tant que durait l'afflux du mélange gazeux. Ce dispositif fut appliqué avec succès au chauffage domestique, à la concentration de liquides et de sirops, à la cuisine et à d'autres emplois variés, qui donnèrent l'idée de la chaudière, dont nous allons parler maintenant.

C'est une multitubulaire, dont les tubes à fumée sont bourrés

de morceaux de briques réfractaires, fabriqués avec une argile d'Ecosse ; ils ont plusieurs mètres de longueur et mesurent 75 millimètres de diamètre. La cheminée aspire le gaz qui se présente à leur entrée : le flux de gaz qui les traverse est enflammé, puis mêlé d'air ; l'incandescence de la matière réfractaire est entretenue et elle échauffe l'eau de la chaudière. L'effet est maximum vers l'entrée des tubes et il s'affaiblit peu à peu ; les gaz brûlés en sortent à une température aussi basse qu'on le veut ; c'est une question de longueur des tubes.

Une Commission d'ingénieurs américains, nommée pour examiner cette chaudière, a publié un rapport dont j'extrais ce qui suit :

Générateur : { virole de 3 mètres de diamètre ; longueur : 1 m. 20 ; 110 tubes de 76 millimètres.

Gaz : gaz de four à coke.

Pression : 25 à 50 millimètres d'eau.

Durée de l'essai : 10 heures.

Pression moyenne de la vapeur : 6,8 kilogrammes par centimètre carré.

Volume du gaz brûlé : 2.882 mètres cubes.

Pouvoir supérieur du gaz : 4.545 calories au mètre cube.

Température des gaz brûlés à la sortie de la chaudière = 196°, à la sortie du réchauffeur = 94°6 ;

Eau totale vaporisée : 22.600 litres.

Titre de la vapeur : 99,3 p. 100.

Rendement : $\frac{\text{chaleur utilisée}}{\text{chaleur fournie}} = 0{,}927.$

Puissance absorbée par le ventilateur : 8,2 chevaux.

Les fumées ne renfermaient pas trace de CO ; 18,1 de CO^2 ; 1,2 d'O et 80,7 p. 100 d'Az ; ces chiffres disent la valeur de ce mode de génération de la vapeur.

Ils ont été confirmés de divers côtés : M. Blache a signalé aux Ingénieurs Civils, le 25 juin 1920, un rendement total gazogène-chaudière de 62 p. 100 obtenu avec du coke à 45 p. 100 de cendres. Quelle est la grille qui aurait donné pareil rendement avec un tel combustible ?

Ce succès est à reporter en partie à la gazéification.

III. — LA PUISSANCE MOTRICE

Le moteur à gaz est le plus riche fleuron de la couronne des gazogènes.

Si le moteur à gaz n'existait pas, le gazogène perdrait la moitié de sa raison d'être.

Le moteur à gaz s'accommode de tous les gaz dont on l'alimente : longtemps on ne lui servit que du gaz riche, tel que du gaz de ville, qu'on ne fabriquait pas spécialement pour lui, mais pour l'éclairage. Ce n'est que plus tard qu'on découvrit qu'il pouvait utiliser des sous-produits gazeux d'autres fabrications, fours à coke et fours de hauts-fourneaux. On ne le croyait pas si complaisant. On en vint ensuite à préparer spécialement un gaz à son usage dans des gazogènes : c'était le gaz pauvre. Celui-ci fit honneur à son producteur, à tel point que certains ingénieurs semblent ne connaître le gazogène que parce qu'il fait vivre le moteur. C'est une exagération : je me suis efforcé de n'y point tomber.

La seule condition que le moteur impose à son gazofacteur, c'est de lui livrer du gaz propre, sans poussières et en majeure partie dépouillé de ses goudrons : sur ces points, il est assez intransigeant.

Un gaz qui serait trop riche en hydrogène, tel que certains gaz à l'eau, occasionnerait des coups durs dans le cylindre et quelquefois des allumages prématurés. Dans ce cas, le moteur grogne quelque peu, mais ne se récuse pas.

Nous avons été amenés à dire ceci : « Le gaz à l'eau n'est pas le gaz de choix des moteurs, car il leur convient peu. »

Ces réserves faites, que le gaz ait un pouvoir de 900 ou de 6.000 calories, le moteur en fait le meilleur usage.

On a cru observer que les gaz pauvres (réellement pauvres) fournissent un meilleur rendement que les gaz riches ; je n'ai pas de raison de déduire semblable conclusion des nombreuses expériences que j'ai faites (1), et je ne crois pas qu'il puisse en être

---

(1) Les mélanges riches, dans la mesure où ils sont compatibles avec la compression qu'on leur fait subir, contribuent à l'amélioration du rendement, mais il y a lieu de ne pas confondre gaz et mélange.

ainsi, comme certains l'ont dit. En effet, qu'est-ce qui brûle dans la culasse du moteur ? c'est un mélange de gaz et d'air. Or, ce mélange possède la même valeur calorifique, quelle que soit la valeur intrinsèque du gaz combustible admis au cylindre. Le gaz de ville à 5.250 calories se mélange habituellement avec 9 volumes d'air ; le pouvoir du mélange est donc égal à 525 calories. Le gaz de haut-fourneau, qui ne vaut que 950 calories, reçoit un volume d'air égal à 0,8 ; cela met le pouvoir du mélange à 527 calories, comme dans le cas précédent.

Le facteur important du rendement des moteurs n'est donc pas le pouvoir du gaz admis, mais le degré de compression pratiqué dans le cylindre. C'est de ce chef que provient la moindre convenance des gaz à teneur grande en hydrogène : ils cognent ; ils se faisaient moins remarquer autrefois, alors que dans les vieux moteurs Otto à tiroir on ne comprimait qu'à 2 ou 3 kilogrammes. Aujourd'hui, la compression atteint 10, 12, voire même 13 kilogrammes, et c'est le plus grand progrès que la théorie leur ait fait réaliser. Je crois y avoir contribué (2).

Les moteurs à gaz, mis au point à la suite d'une cinquantaine d'années d'études théoriques et pratiques, ont pris rang parmi les meilleures machines thermiques : ils ne sont dépassés que par les motuers à huile, à combustion, et très grande compression préalable, connus sous le nom de moteurs Diesel.

Voici trois essais que j'ai effectués sur un petit moteur au gaz de ville, un moteur au gaz pauvre et un puissant moteur à gaz de haut-fourneau, qui établissent les remarquables rendements de ce genre de machines.

1° *Expériences effectuées sur un moteur Catteau de* 16 *chevaux à Roubaix, février* 1903.

au gaz de ville

Diamètre du cylindre..... 230 mm.
Course du piston..... 460 —
Frein de Prony, à levier inférieur, équilibré.
Longueur du bras de levier : 1 m. 473.
Poulie de frein à irrigation intérieure.

---

(2) Voir sur tous ces points mon *Traité des Moteurs à gaz, passim.*

Durée de l'essai	Consommation horaire de gaz de ville à 0° et 760 m/m	Nombre de tours par minute	Pouvoir du gaz	Charge du frein	Puissance en chevaux	Consommation horaire	
						en litres de gaz	en calories
minutes	litres		calories	kgr.			
30	4.971	195,5	5.423	29,10	11,72	425	2.297
60	6.266	210,27	5.588	37,05	16,02	391	2.195
180	6.716	199,87	5.647	41,15	16,92	397	2.242
120	6.431	206,75	5.784	41,10	17,48	368	2.128

L'allumage étant électrique, ces chiffres sont à considérer comme déterminés avec allumage déduit.

Le rendement thermique le plus favorable, de 368 litres par cheval-heure effectif, correspond à un rendement thermique effectif de 29,8 p. 100.

Pression de compression moyenne : 13 kilogrammes au centimètre carré.

2° *Expériences effectuées sur un moteur Letombe de* 700 *chevaux au Thiriau, décembre* 1907.

au gaz pauvre

Type : 2 cylindres double effet en tandem. Alternateur triphasé Oerlikon.

Diamètre des cylindres	720 m/m
Course de pistons	800 —
Diamètre des tiges	210 —

Gazogène Letombe.

Combustible : grésillon de Bois du Luc.

Cendres	22,30
Carbone fixe	74,82
Matières volatiles	2,88
	100,00

Pouvoir calorifique du coke : par le calorimètre Witz	6.660 calor.
Pouvoir calorifique supérieur du gaz : par l'analyse	1.177 —
Par la bombe Witz	1.196 —
Vitesse du moteur en tours-minute	139,67
Puissance développée à l'alternateur	493,868 kw.

Rendement de l'alternateur : 0,94.
Puissance du moteur : 713,85 chevaux électriques. A déduire pour services auxiliaires : 8,70 chevaux.
Puissance nette : 705,15 chevaux.
Consommation de coke par cheval-heure effectif : 608 grammes.
Consommation de coke en calories : 4.062 calories.

Ce grésillon de coke était de qualité très inférieure ; en charbon de 8.000 calories, la consommation ressortirait à 500 grammes environ.

3° *Expériences faites sur un moteur de la Société alsacienne aux aciéries de Longwy, août* 1907.
au gaz de haut-fourneau

Type : 2 cylindres double effet en tandem.
Diamètre des cylindres : 800 millimètres.
Course des pistons : 1 mètre.
Diamètre des tiges : 200 millimètres.
Génératrice à courant continu, à connexion directe.
Pouvoir calorifique supérieur du gaz de haut-fourneau.
Par l'analyse : 967 calories.
Par la bombe Witz : 954 calories.
Vitesse du moteur en tours par minute : 103,43.
Rendement à la génératrice : 0,91.
Puissance développée de la génératrice : 603,9 kilowatts.
Puissance développée au moteur : 900 chevaux.
Consommation du gaz par cheval-heure effectif : 2.528 litres.
Consommation en calories par cheval-heure effectif : 2.447 calories.

Le rendement thermique effectif est de plus de 25 p. 100.

Ces trois exemples suffisent pour montrer ce que l'on peut attendre des bons moteurs à gaz, avec différents gaz.

J'ai établi autrefois un parallèle entre les rendements des

moteurs à gaz et des machines à vapeur (1), dont je crois utile de rappeler les conclusions :

Le rendement d'un groupe chaudière-machine à vapeur est d'au plus 15 p. 100, mais ce chiffre est très rarement atteint : c'est le résultat le plus brillant réalisable par une installation parfaite, avec surchauffeurs et réchauffeurs, conçue et réalisée dans les conditions les meilleures : c'est le rendement *indiqué* ; le rendement effectif se tient en dessous de 13.

Par contre, le rendement d'un groupe gazogène-moteur est de 26 en indiqué et de 22 en effectif.

Je concluais en disant que les appareils à vapeur sont gravement mis en échec par les appareils à gaz.

Cela est indiscutable au point de vue purement technique : au point de vue économique, il faut déchanter, parce que le charbon dont se nourrit le gazogène est plus cher que le combustible quelconque dont se contente le foyer d'une chaudière. Mais il reste un avantage réel dans un grand nombre de cas et dans un grand nombre de pays : cette observation relative au pays pourra étonner, et pourtant elle est très fondée ; en effet, en certains points du territoire, le prix d'un bon anthracite anglais dépasse de beaucoup celui des fines et du tout venant des mines de houilles françaises, alors qu'ailleurs la péréquation est presque faite entre ces prix. Il y a d'ailleurs aussi un considérant d'époque à faire intervenir ; ainsi aujourd'hui, en 1920, les prix élevés du fret et des transports par voie ferrée tendent à effacer presqu'entièrement les écarts des taux de vente des charbons de diverse qualité. Les économies de charbon restent ce que nous venons de dire et elles sont d'autant plus appréciables que la crise du charbon sévit avec plus d'intensité.

La vapeur a des défenseurs, qui incriminent le fonctionnement des moteurs. A les entendre, les moteurs à gaz manqueraient absolument d'élasticité, ainsi que les gazogènes qui les alimentent. Les chiffres remarquables alignés ci-dessus corres-

---

(1) Witz. Rendement comparé des machines à vapeur et des moteurs à gaz (*Eclairage électrique*. janvier 1902). Cet article a été suivi par un autre sur le fonctionnement comparé de ces machines, paru en mai 1902, dans la même revue.

pondraient à la pleine charge et subiraient une énorme majoration à charge réduite. Les machines ne seraient capables d'aucune surcharge. Elles nécessiteraient une surveillance, des réparations, des dépenses de graissage, etc., très supérieures à l'ordinaire des appareils à vapeur, etc.

Dans toute cette plaidoirie *pro vapore*, il y a du vrai, mais on y apporte aussi beaucoup d'exagération. Si ces arguments étaient fondés, on n'installerait plus nulle part de gazogènes et de moteurs à gaz. Or, leur nombre et leur importance n'a cessé de croître depuis vingt ans.

La plupart des livres consacrés comme celui-ci à l'étude des gazogènes décrivent des élévations d'eau (Bâle, Laval, Birmingham), des stations de tramways et des centrales (Zurich, Lausanne, Poitiers, Tunis, Barcelone), des usines de produits céramiques et autres (Embrach, Northwich), qui ne semblent pas regretter d'avoir abandonné les chaudières à vapeur pour se vouer aux gazogènes. J'en cite des exemples décisifs dans mon *Traité des Moteurs*.

Mais c'est auprès des fours à coke et des hauts-fourneaux que nous donnons rendez-vous à ceux qui désirent éclairer leur religion à ce sujet.

M. Léon Greiner a consacré une belle étude à la production économique de la puissance motrice dans les usines métallurgiques, et il a établi avec autorité les faits suivants.

Etant donnés les progrès réalisés récemment par les turbines à vapeur et les avantages spéciaux de ces machines, pour la commande directe d'alternateurs ; considérant que le gaz destiné aux moteurs doit faire l'objet d'une épuration plus parfaite que le gaz envoyé aux chaudières ; tenant compte de la surveillance, du graissage et de l'entretien, souvent plus onéreux pour les moteurs que pour les turbines, faut-il donner la préférence aux moteurs ou bien aux turbines, pour les stations centrales de l'industrie sidérurgique ?

Le distingué ingénieur belge n'hésite pas à conclure en faveur du moteur.

Entr'autres constatations, il fait observer que la meilleure turbine à vapeur ne consomme pas moins de 6 kgr. 500 de vapeur prise à 12 kilogrammes de pression et surchauffée à

300°, pour engendrer le kilowatt-heure, ce qui fait 7.200 calories de gaz, même en prêtant aux chaudières un rendement qu'elles ne possèdent guère qu'au jour des essais de réception, avec des chauffeurs habiles, bien stylés et excités par l'appât d'une récompense. Or, le kilowatt-heure s'obtient par 3.600 calories par les moteurs. L'emploi de ces moteurs permet par suite de doubler la puissance que produiraient les meilleurs engins usant de la vapeur.

C'est un fait contre lequel aucun sophisme ne saurait prévaloir.

La considération des prix de revient du kilowatt-heure n'est pas moins édifiante. M. Greiner estime le prix du mètre cube du gaz des hauts-fourneaux de l'établissement Cockerill, à Seraing, à 29 centièmes de centime ; il admet un amortissement de 13 p. 100, pour les installations, un intérêt de 5 p. 100 du capital engagé et il calcule que le kilowatt-heure coûte 1,09 centime.

En résumé, nous voyons qu'un grand progrès est résulté de l'établissement d'usines, comprenant des fours à coke et des hauts-fourneaux, installés à côté des cornues Thomas, des fours Martin et autres (on peut nommer les fours électriques), dont les gaz alimentent subsidiairement les laminoirs et tous les appareils de transformation.

Dans une usine ainsi constituée, on ne consomme en combustible que la houille soumise à la distillation dans les fours à coke et le coke que ceux-ci envoient au haut-fourneau ; en définitive, on ne brûle plus, en dehors des producteurs de coke et de fonte, que du combustible pris sous forme gazeuse, employé à chauffer des appareils et à mouvoir des mécanismes.

On arrive de la sorte à une réduction énorme de consommation de charbon.

Il faut noter en effet que la métallurgie de gros œuvre absorbe à elle seule le cinquième du combustible annuellement consommé en France ; c'était la proportion de 1913, à la veille de la guerre. Les 3471 établissements appartenant à cette catégorie, disposaient d'une puissance globale de 594.982 chevaux : cette puissance était le sixième de la puissance motrice des machines

fixes du pays (1). Les admirables gazogènes que sont les hauts-fourneaux et les fours à coke, associés aux moteurs à gaz, conduisent sur ce point à une économie dans on ne saurait assez faire ressortir l'importance. De ce chef, le gazogène se place au premier rang des inventions modernes.

Nous allons voir du reste ce qu'on attend encore de lui.

IV. — LE PROGRAMME NATIONAL DE CARBONISATION

Parmi les soucis de l'après-guerre, un des plus graves, on pourrait dire un des plus angoissants, est causé par la pénurie du charbon.

La crise que nous traversons est mondiale ; elle est assurément un des effets de la terrible épreuve dont nous sortons, mais il faut reconnaître qu'elle se préparait depuis longtemps, et qu'elle aurait éclaté un jour ou l'autre ; en effet, la productivité de la main-d'œuvre baissait depuis plus de dix ans ; la nouvelle mentalité des ouvriers, et leur moindre activité, diminuée encore par la loi des huit heures, devait rompre l'équilibre entre l'extraction et la consommation. Aujourd'hui la France brûle 70 millions de tonnes et elle n'en produit pas le tiers (2) ; l'Allemagne devait nous en fournir 27 millions et elle se dérobe à ses engagements ; l'Angleterre en avait promis 18, qu'elle ne peut livrer. Il n'est pas étonnant dès lors que le peu dont nous disposons soit payé à des prix de famine, que le mauvais change a encore doublés ou triplés.

Les moyens d'économiser le charbon, en lui faisant rendre toute son énergie potentielle, prennent dès lors une importance extrême, et ils sont l'objet des plus vives préoccupations de

---

(1) Cette puissance ne comprend ni les locomotives ni les tramways à vapeur, ni les machines de bateaux, en un mot aucune motrice locomobile, dont la puissance est d'environ 300.000 chevaux au total. La puissance des machines fixes est d'environ 3 millions et quart de chevaux.

(2) Les charbonnages du Nord et du Pas-de-Calais, odieusement ravagés par un envahisseur sans foi ni loi, ne produisent plus que le quart des 28 millions de tonnes qu'elles donnaient en 1913 ; il faudra dix ans pour les remettre en état.

tous ceux qui ont acquis quelque compétence dans la question (1).

Nous allons voir que le gazogène est appelé à jouer le premier rôle dans la situation : quelques-uns exagèrent peut-être ce rôle, mais tous sont unanimes à en reconnaître la grande efficacité.

On a placé le gazogène comme pierre angulaire et fondamentale à la base d'un programme *national* de carbonisation.

Ce programme a trouvé d'ardents promoteurs ; des esprits distingués lui ont donné une formule et ont pris à tâche de l'appliquer.

On est parti d'un énoncé un peu simpliste dans sa forme, mais qu'on cherchait à vulgariser et à rendre populaire par sa simplicité même.

On a fait remarquer d'abord que la combustion de la houille dans des foyers, telle qu'elle est habituellement pratiquée, est une véritable barbarie, attendu qu'elle fait perdre de précieux produits, aisément récupérables, dont les uns sont eux-mêmes combustibles, les autres ayant une valeur vénale intrinsèque parfois considérable. Il faut les recueillir pour les utiliser au mieux.

D'autre part les cheminées, qui couronnent leur cime d'un épais panache de fumée noire ou jaunâtre, font perdre un pourcentage élevé des calories du combustible et c'est d'autant plus regrettable que ce sont les carbures les plus riches dont la combustion se fait mal et qu'on rejette à l'air. Ces mêmes carbures pourraient être employés dans l'industrie chimique des explosifs, des picrates, des couleurs d'aniline, des parfums de synthèse, des antiseptiques, etc. ; les essences légères qui les accompagnent actionneraient des moteurs, ainsi que les gaz non condensables, en procurant des rendements que la machine à vapeur ne connaît pas.

Il faut donc aviser à supprimer une prodigalité si condamnable.

---

(1) J'ai développé ces considérations dans mon dernier ouvrage « *La crise du combustible et ses remèdes* » (Paris, Doin, 1920) et j'y renvoie le lecteur pour plus ample étude.

Le moyen à employer est tout trouvé : c'est de distiller les houilles et de gazéifier les cokes restés dans les cornues et les fours, en fabriquant des gaz et en recueillant les sous-produits de l'opération.

M. Métivier a entrepris de réaliser ce grand dessein, et il a présenté, le 27 juin 1919, au Comité du Pétrole, un remarquable rapport, dans lequel il a exposé son projet. Il est résumé dans le tableau de la page 372.

Première conclusion : la distillation-gazéification ne donne que la moitié des calories de la houille, mais cette perte est largement compensée par l'utilisation de ces calories en moteurs pour la production de la puissance motrice, à tel point que finalement il resterait encore un bénéfice de 32,5 p. 100.

Autre aperçu : la grosse métallurgie de France consommait annuellement 6 millions de tonnes de coke dont l'Allemagne nous vendait presque la moitié ; il faut supprimer cette dépendance dangereuse, par les moyens que présente un second tableau (page 373).

Utilisation pour la production de puissance motrice.

1° 36.370 milliards de calories-gaz à raison de 3.600 calories par kw.-h.	10.100.000.000 kw.-h.
2° 85.000 tonnes de benzol à raison de 400 grammes par kw.-h.....	212.500.000 —
3° 616.000 tonnes d'huiles et brais àraison de 500 gram. par kw.-h...	1.232.000.000 —
Total représentatif en puissance motrice.....	11.544.500.000 kw.-h.

M. Métivier escompte le retour de la Lorraine à la mère-Patrie pour porter à 14 millions de tonnes la carbonisation annuelle de la France ; il fait observer qu'avant la guerre il y avait déjà chez nous 4.210 fours à coke en activité, les trois quarts se trouvant dans le Nord et le Pas-de-Calais ; d'autre part, les usines à gaz absorberont aisément 6 millions de tonnes. Le tableau fait voir quel profit nous pourrons tirer de cette carbonisation de 20 millions de tonnes, en tenant compte des besoins des deux industries qui les mettront en œuvre.

Bilan thermique de la carbonisation d'un million de tonnes de houille avec gazéification du coke produit.

COMBUSTIBLES ARTIFICIELS PRODUITS PAR LA CARBONISATION	QUANTITÉS par tonne de houille	QUANTITÉS totales	CALORIES par unité	CALORIES totales en milliards de calories	OBSERVATIONS
Gaz de distillation	300 mc.	300.000.000	4.500	1.350	
Gaz de gazéification du coke	2.800 mc.	2.800.000.000	1.100	3.080	à raison de 4.000 mc. par tonne de coke.
Totaux des calories-gaz				4.430	
Chauffage des fours à coke				675	
Nombre de calories-gaz disponibles				3.765	soit 93,5 p. 100 du total.
Benzols	5 kgr.	5.000	9.500	47,5	
Huiles lourdes	10 kgr.	10.000	8.500	85,0	
Brai	16 kgr.	16.000	8.500	136,0	
Total des calories huiles-brai				268,5	soit 6,5 p. 100 du total.
Calories totales disponibles				4.033,5	
En p. 100 des calories de la houille				50 p. 100	

Utilisation pour la production de la puissance motrice.

			du total
1° Par les calories-gaz, à raison de 3.600 calories par kilowatt-heure	1.040.000.000	soit 94 p. 100	du total
2° Par le benzol à raison de 400 grammes par kilowatt-heure	12.500.000	soit 1,2 p. 100	
3° Par les huiles et brais, à raison de 500 grammes par kilowatt-heure	52.000.000	soit 4,8 p. 100	
Total des kilowatts-heures	1.104.500.000		
Par la houille crue à raison de 1 kgr. 200 par kilowatt heure	833.000.000		
Excès sur la puissance tirée de la houille crue	271.500.000		
Excès en p. 100 de la puissance en houille crue	32,5 p. 100	soit environ un tiers en plus.	

Bilan thermique de la carbonisation des 20 millions de tonnes de houille prévues annuellement pour les besoins nationaux en coke et en gaz d'éclairage

Bilan thermique de la carbonisation des 20 millions de tonnes de houille prévues annuellement pour les besoins nationaux en coke et en gaz d'éclairage.

	COKE MÉTALLURGIQUE 14 MILLIONS DE TONNES DE HOUILLE				GAZ D'ÉCLAIRAGE 6 MILLIONS DE TONNES DE HOUILLE			
	Quantités		Calories		Quantités		Calories	
	par tonne de houille	Totales (tonnes ou mètres cubes)	par unité	totales en milliards de calories	par tonne de houille	totales (tonnes oumètres cubes)	par unité	totales en milliards de calories
Gaz de disitllat..	280 mc.	3.920.000.000	4.500	17.640	320 mc.	1.920.000.000	5.000	9.600
Gaz de gazéification.....	2800 mc.	39.200.000.000	850	33.320	2600 mc.	7.800.000.000	1.100	(1) 8.580
Gaz de hauts fourneaux					Gaz de gazogènes			
Totaux en calories-gaz.....				50.980	Chauffe au coke fourni par les petites usines			18.180
Chauffe fours à coke.....				9.450				
Calories gaz utilisables				41.510	.....			18.180
Récupérateurs et soufflantes (1).....				23.320				
Calories gaz disponibles				18.190	.....			18.180
Benzols	5 kgr.	70.000	9.500	665	5 kgr.	15.000	9.500	(1) 143
Huiles lourdes .	10 kgr.	140.000	1.190	1.190	15 kgr.	90.000	8.500	765
Brai.....	16 kgr.	284.000	1.904	1.904	27 kgr.	162.000	8.500	1.377
Totaux des calories disponibles				21.949	.....			20.465

(1) On compte que 50 p. 100 du gaz d'un haut fourneau sont utilisés dans les cowpers et 20 p. 100 pour les soufflantes.

(1) Sur 3 millions de tonnes de houille distillées dans les usines importantes.

En résumé, M. Métivier chiffre la contribution des industries métallurgique et gazière à l'apport ci-dessous :

26 milliards de calories-gaz.
85.000 tonnes de benzol commercial.
230.000 tonnes d'huiles lourdes.
386.000 tonnes de brai.

Il arrive à la conclusion suivante : « Le remplacement de la houille crue par ses produits de carbonisation trouvera son expression la plus convaincante dans les applications aux industries diverses et à la consommation domestique. C'est en même temps que la partie la plus importance du problème général de la carbonisation, celle qui rencontrera le plus de difficultés d'ordre économique et surtout administratif ; elle présente au plus haut degré le caractère national, mais elle heurtera souvent les habitudes et les traditions d'un grand nombre de consommateurs et quelquefois les intérêts de certains d'entre eux. En raison de ces caractères et aussi de ces obstacles, c'est elle qu'un programme national de carbonisation doit s'attacher principalement à résoudre. »

La haute valeur technique de l'éminent ingénieur qui a écrit ces lignes et la forte documentation sur laquelle reposent ses conclusions leur confèrent une autorité devant laquelle nous nous inclinons, d'accord avec tous les gens compétents en ce genre d'études. Nous ne nous permettrons que de discrètes observations, portant sur quelques détails. N'est-il vraiment possible de retirer que 50 p. 100 des calories disponibles dans la houille ? Il serait permis d'attribuer à la gazéification un meilleur rendement. Par contre, l'appréciation de l'utilisation des calories pour la production de la puissance motrice me paraît trop optimiste. Mais il y a compensation dans l'estimation définitive, et le bénéfice final de 32,5 p. 100 peut paraître légitime, en théorie du moins. En pratique, il faut s'attendre à des moins-values qui réduiront sans doute ce chiffre. J'ai été mis en situation d'apprécier, en qualité d'ingénieur-conseil et d'arbitre de puissantes centrales, constituées d'après le principe de la gazéification de houilles bitumineuses, avec récupération totale et emploi de moteurs à gaz, qui n'ont pas réalisé les

espérances (légitimes en apparence) que l'on avait conçues. Le système Mond, dont on s'est tant loué en Angleterre, a donné ailleurs de médiocres résultats. En Allemagne, des experts désignés par le gouvernement impérial pour donner un avis motivé sur des propositions analogues à celle de M. Métivier, ont conseillé une attitude plus expectante qu'allante. Je crois donc qu'il serait sage de procéder avec prudence et circonspection, et de ne s'engager dans les grandes dépenses qu'entraînera l'exécution de ce vaste et séduisant programme, qu'après une étude approfondie de chaque cas qui se présentera. Dans une discussion engagée devant la Société des Ingénieurs civils (1), M. Charpy a rappelé les réserves que j'avais cru devoir formuler sur le « programme national » et il s'y est rallié. Je persisterai donc à dire que les projets que l'on a conçus me paraissent trop vastes pour l'heure présente, et que je préférerais qu'on tendit au but entrevu par une lente évolution, plutôt que par une révolution trop radicale et trop rapide.

Je ne formule donc pas de critique formelle, je me borne à faire quelques réserves.

Je reconnais sans difficulté qu'en bien des cas les gazogènes conduisent à d'excellents résultats pratiques. Les succès des gazogènes Mond ont été plus nombreux que les insuccès. Les stations centrales montées au pied des hauts fourneaux et à côté des fours à coke sont les plus avantageuses de toutes les stations thermiques, j'en ai donné des preuves ci-dessus. M. Joulot a cité l'exemple d'une usine qu'il a suivie dans son fonctionnement et qui a donné pleine satisfaction : je reproduirai pour finir, ses conclusions, basées sur des chiffres indiscutables (2).

Il s'agit d'une station dans laquelle la Société des houilles de Montrambert a appliqué la formule de la distillation préalable à des charbons inférieurs, renfermant de 40 à 45 p. 100 de cendres et 20 p. 100 de matières volatiles. La distillation de ces charbons cendreux donne :

180 mètres cubes de gaz à 4.200 calories ;

---

(1) Séance du 28 mai 1920.

(2) M. Joulot. Sur l'utilisation judicieuse des combustibles (*La Technique Moderne*, décembre 1919).

25 kilogrammes de goudron ;

6 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque.

Le coke obtenu tient de 50 à 55 p. 100 de cendres.

Il est passé au gazogène et fournit, par tonne, 2500 mètres cubes de gaz pauvre, de 950 à 1000 calories.

Epuré, ce gaz fait tourner un moteur de 550 kilowatts. Cette machine consomme, par cheval-heure, 2.500 litres de gaz.

Les résultats obtenus par cette petite station d'essai ont été si heureux que l'on construit une nouvelle batterie de 25 fours à coke et une autre de huit gazogènes.

Cet exemple témoigne de ce que l'on peut attendre des gazogènes pour l'économie du combustible.

. Les gazogènes sont des appareils remarquables, que la Providence semble avoir réservés pour nous permettre de surmonter les graves difficultés de l'heure présente.

Ce sera la conclusion de ce petit livre, écrit de bonne foi et sans parti pris, avec le seul désir d'être utile à ceux qui voudront bien y jeter les yeux, ce dont je les remercie.

BIBLIOGRAPHIE

1863. — *L'Economie du combustible*, 2e édition, par E. Bède ; Paris, Noblet et Liège.

1867. — *La Tourbe*, par Lencauchez ; Paris, Bernard Tignol.

1878. — *Traité de la chaleur* considérée dans ses applications, par Péclet, 4e édition, publiée par Hudelo ; Paris, Masson.

1878. — *Etude sur les Combustibles*, par Lencauchez ; Paris, Lacroix.

1885. — *Les Moteurs à gaz*, par G. Richard ; Paris, Vve Dunod.

1886. — *Traité théorique et pratique des Moteurs à gaz*, par Aimé Witz ; Paris, Bernard et Cie.

1888. — *Traité de physique industrielle*, par Ser ; Paris, Masson.

1888. — *Neue Gasfeuerungen*, par Putsch ; Berlin, Simon.

1892. — *Le Gaz et ses applications*, par de Montserrat et Brisac ; Paris, J.-B. Baillière et fils.

1893. — *Le chauffage au gaz* et ses applications à la métallurgie, par Ledebur ; traduction Krawtzoff ; Paris, Bernard.

1897. — *De l'utilisation des gaz de hauts-fourneaux*, par Hubert ; Annales des Mines de Belgique ; Tome II.

1899. — *Etude sur divers gaz combustibles*, par Lencauchez ; Paris, Bernard Tignol.

1899. — *Das Wassergas und seine Verwendung*, par Geitel ; Berlin.

1899. — *Neuere Gas und Kohlen Staubfeuerungen*, par Putsch ; Berlin, Simon.

1900. — *Les Moteurs à gaz* et leurs sources d'alimentation, par Aimé Witz ; Congrès de l'industrie du gaz ; Paris.

1900. — Les *Moteurs à gaz* de grande puissance en métallurgie, par le même ; Congrès de mécanique appliquée ; Paris.

1900. — *Le potentiel de la houille* et ses origines, par Kern ; Strasbourg, Fischbach.

1900. — *Réactions thermiques* dans la distillation de la houille, par Euchène ; Congrès de l'industrie du gaz ; Paris.

1901. — *Le gaz à l'eau carburé*, par LAVERCHÈRE ; *Le Génie civil*, octobre.
1901. — *Les Moteurs à gaz et les gazogènes* à l'Exposition de 1900, par Aimé WITZ ; *Revue technique de l'Exposition* ; Paris, Bernard.
1902. — *Rendement comparé* des machines à vapeur et des moteurs à gaz, par le même ; l'*Eclairage électrique*, janvier.
1902. — *Les Gazogènes*, par J. DESCHAMPS ; Paris, Dunod.
1903. — *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz*, par Aimé WITZ ; 4e édition ; Paris, Bernard.
1903. — *Manuel théorique et pratique* de la métallurgie du fer, par LEDEBUR, traduction BARBARY DE LANGLADE ; Paris, Béranger.
1904. — *Manuel pratique des Moteurs à gaz et gazogènes*, par R. MATHOT ; Paris, Béranger.
1905. — *Les Meilleurs gaz pauvres*, par Aimé WITZ ; Congrès de Mécanique de Liége.
1906. — *Leçons sur la production et l'utilisation des gaz pauvres*, par L. MARCHIS ; Paris, Dunod et Pinat.
1907. — *La calorimétrie industrielle*, par Aimé WITZ. *Annales de la Société scientifique de Bruxelles* ; Tome XXXI.
1907. — *Production économique de la force motrice* dans les usines métallurgiques, par L. GREINER ; *Revue universelle des Mines*, Tome XVIII.
1908. — *Nouveaux systèmes de distillation* de la houille, pour la production du gaz d'éclairage ; *Mémoires des Ingénieurs civils.*
1909. — *Les Moteurs*, par LETOMBE ; Paris, J.-B. Baillière.
1909. — *Note sur l'utilisation directe du gaz de four à coke*, par CUVELETTE ; *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, février.
1910. — *Dernière évolution du moteur à gaz*, par Aimé WITZ ; Paris, L. Geisler.
1911. — *Gazogènes et moteurs à gaz pauvre*, par CHAMPLY ; Paris Desforges.
1912. — *Moteurs et gazogènes*, par LETOMBE ; *Technique Moderne.*
1913. — *La crise de la machine à vapeur* ; Bulletin de la Société industrielle du Nord de la France, par Aimé WITZ.
1918. — *Die rationelle Ausnutzung der Kohle* ; études publiées par le REICHSAMT ; Berlin, Heymann.
1919. — *Combustibles industriels*, par COLOMER et LORDIER ; Paris, Dunod et Pinat.
1919. — *Rapport sur un programme national* de carbonisation présenté au Comité général du pétrole, 27 juin, par M. MÉTIVIER.
1920. — *La crise du combustible* et ses remèdes, par Aimé WITZ ; Paris, Octave Doin.

TABLE ALPHABÉTIQUE

Pages

A

Analyse du gaz 123
Arbos 67 241

B

Bilan de carbonisation..... 372
Bois..... 33
Bombe Witz..... 127
Bordenave 32
Brûleurs 357

C

Calcul des gazogènes 165
Chaudière sans flamme..... 360
Chauffage par les gaz 350
Classification des gazogènes.. 53
Coke..... 42
Combustibles ;composition .. 31
— pouvoirs 118
Combustion ; phénomènes .. 48
Combustion renversée (voir tirage)..... .
Consommation des moteurs . 362
Constitution d'un gazogène . 173
Cornues à gaz..... 54, 184
Cuvelette..... 84
Crossley 47

D

Déchets et rebuts 45
Des champs.... 117, 223, 323
Dimensions des gazogènes 181, 336

Pages

Doseur d'eau Winterthur ... 117
Dugald Clerck..... 229

E

Eclairage 345
Epuration du gaz 85, 173, 324
Essais des gazogènes 131

F

Fonctionnement des gazogènes..... 156
Four à chambre de Munich .. 185
Fours à coke..... 55, 159
Four Appolt..... 188
— Coppee-Otto 189
— Parsy..... 187

G

Gaz à l'air 86
— à l'eau 88
— d'éclairage,..... 79
— de four à coke..... 83
— de haut fourneau..... 94
— mixte ou pauvre .. 91, 155
Gazogènes à l'air 59, 190
— à l'eau 61, 212
— à gaz mixte 63, 223
— à aspiration..... 66
— à combustibles spéciaux 306
— à insufflation 68
— à cuves jumelles . 285
— à mécanismes.... 267

	Pages
Gazogène à récupération complète	281
— à tirage renversé	290
— Batigne	283
— Beaufumé	198
— Béchevot (Ignis)	260
— Bénier	241
— Bischof	194
— Chavanne-Brun	279
— Cousin	262
— Crossley	251
— Delwick-Fleischer	220
— Dowson	225
— Duff	304
— Ebelmen	191
— Faugé-Chavanon	298
— Fichet et Heurtey	272
— Fornas	299
— Gardie	264
— Griffin	262
— Kerpely	272
— Kitson et Walker	270
— Kœrting	272, 312
— Kramers et Aarts	221
— Leflaive	284
— Lencauchez	205, 234
— Letombe	248, 293, 307
— Lowe	217
— Marconnet	280
— Mond	302
— Morgan	209
— Muller et Fichet	208
— National	256
— Otto	231, 313
— Parsy	282
— Piat	256
— Pierson	245
— Pineau	284
— Pintsch	273, 313
— Ponsard	196
— Riché	288
— Saillers	209
— Siemens	200
— Strache	219
— Strong	215, 217
— Tangye	255
— Taylor (américain)	272
— Taylor	242
— Tessier du Motay	213
— Twaite	286
— Vierzon	311
— Winterthurt	251, 279, 314
Goutal (formule)	122
Greiner	367

H

Hauts fourneaux	162
Houilles	37, 118
Hubert	95

I

Injection d'eau	91, 113
Installations	111, 319

L

Lencauchez	40, 73, 82, 93, 101, 113, 170, 207, 343, 355
Letombe	67, 77, 97, 127, 142, 153, 260, 297
Lignite	35, 118

M

Marchis	145
Marquisan	151, 187
Mathot	105
Mesure des volumes	133
Métivier	371

P

Parallèle entre les gaz	100, 125, 139
Pouvoir supérieur et inférieur	118
Pouvoirs (mesure des)	118

R

Réchauffeur Winterthur	322
Récupération	73, 303, 339
Rendements	101, 138

S

Séparateur Pelouze	331
Scheurer-Kestner	119, 127 137
Scrubber	326, 340
Station sidérurgique	175

T

Tirage renversé	16, 75, 290
Théorie du gazogène	60
Tourbe	34
Tubes de Pitot	135

V

Vaporisateur Otto	321
Végétaux	32
Vivian Lewes	123
Witz	81, 97, 100, 116, 120, 127

TABLE DES MATIÈRES

DÉFINITIONS PRÉLIMINAIRES 5
LEXIQUE DE GAZÉIFICATION 10
CHAPITRE PREMIER. — **L'histoire du gazogène** 13
CHAPITRE II. — **Les combustibles et leur combustion** 31
Les végétaux 32
Le bois 33
Les tourbes 34
Les lignites 35
Les houilles 36
Les cokes 42
Les combustibles liquides 44
Les déchets et les rebuts 45
Les phénomènes de combustion 48
CHAPITRE III. — **Les types de gazogènes et leur théorie** 53
I. — *Gazogènes à distillation* 54
1. — Cornues à houille 54
2. — Fours à coke 55
3. — Cornues au bois avec autoréduction 56
II. — *Gazogènes de chauffage et de puissance motrice* 47
III. — *Gazogènes spécifiés par leurs gaz* 59
1. — Gazogènes au gaz à l'air 59
2. — Gazogènes de gaz à l'eau 61
3. — Gazogènes de gaz mixte 63
IV. — *Gazogènes spécifiés par leur fonctionnement* 66
1. — Gazogènes à aspiration 66
2. — Gazogènes à insufflation 68

N. — *Gazogènes spécifiés par leur combustible* 71
1. — Gazogènes à charbon anthraciteux 72
2. — Gazogènes à charbon bitumineux en allure froide 73
3. — Gazogènes à charbons gras en allure chaude 73
4. — Gazogènes à charbons cendreux 76
VI. — *Gazogènes spéciaux* 77

CHAPITRE IV. — **Les gaz de gazogènes** 79
I. — *Le gaz de ville dit d'éclairage* 79
II. — *Les gaz de distillation* 81
III. — *Le gaz de four à coke* 83
IV. — *Le gaz à l'air (gaz Siemens)* 86
V. — *Le gaz à l'eau* 88
VI. — *Le gaz mixte, dit gaz pauvre* 91
VII. — *Le gaz de haut fourneau* 94
VIII. — *Parallèle entre les gaz de gazogènes* 100

CHAPITRE V. — **Le fonctionnement et le rendement des gazogènes** 108
I. — *Considérations générales sur les rendements et les pouvoirs* 108
II. — *Le meilleur fonctionnement* 112
III. — *Mesure des pouvoirs calorifiques des combustibles solides et gazeux* .....
1. — Combustibles solides .....
2. — Combustibles gazeux .....
IV. — *Mesure des chaleurs du combustible solide et gazeux* .....
V. — *Calcul des rendements* .....
1. — Rendement théorique .....
2. — Rendement pratique .....

CHAPITRE VI. — **La capacité des gazogènes** 164
I. — *Le volume des gaz engendrés* 165
II. — *La constitution d'un gazogène* 173

CHAPITRE VII. — **La monographie des gazogènes** 183
I. — *Gazogènes par distillation* 184
1. — Cornue Bueb 184
2. — Cornue Woodall et Duckham 185
3. — Fours à chambres de Munich 186
4. — Fours Parsy 187
5. — Fours Appolt 188
6. — Fours Coppée-Otto 189

II. — *Gazogènes au gaz à l'air* 190
1. — Gazogènes Ebelmen et Thomas et Laurens 191
2. — Gazogène Bischof 194
3. — Gazogène Ponsard 196
4. — Gazéificateur Beaufumé 198
5. — Gazogènes Siemens 200
6. — Gazogènes Lencauchez 205
7. — Gazogènes Muller et Fichet 208
8. — Gazogènes Saillers 209

III. — *Gazogènes de gaz à l'eau* 212
1. — Gazogène Tessier du Motay 214
2. — Gazogène Strong 215
3. — Gazogène Lowe 217
4. — Gazogène Strong-Goodyear 217
5. — Gazogène Strache 219
6. — Gazogène Dellwick-Fleischer 220
7. — Gazogène Kramers et Aarts 221

IV. — *Gazogènes au gaz mixte* 223
1. — Gazogène Dowson 225
2. — Gazogène Otto 231
3. — Gazogènes Lencauchez 234
4. — Gazogène Bénier 241
5. — Gazogène Taylor 242
6. — Gazogène Pierson 245
7. — Gazogènes Letombe 248
8. — Gazogène Winterthur 251
9. — Gazogènes Crossley 251
10. — Gazogène Tangye 256
11. — Gazogène National 256
12. — Gazogène Piat 256
13. — Gazogène Béchevot (Ignis) 260
14. — Gazogène Cousin 262
15. — Gazogène Gardie 264

V. — *Gazogènes à mécanismes* 267
1. — Gazogène Griffin 267
2. — Distributeur Morgan 269
3. — Gazogène Kitson et Walker 270
4. — Gazogène Kerpely 272
5. — Gazogènes Fichet et Heurtey 272
6. — Gazogène Chavanne-Brun 279

7. — Gazogène Winterthur 279
8. — Gazogène Marconnet..... 280
9. — Gazogène Parsy 282
10. — Gazogène Batigne..... 283
11. — Gazogène Leflaive 284
12. — Gazogène Pineau..... 284

VI. — *Gazogènes à cuves jumelles* 285

1. — Gazogène Twaite 286
2. — Gazogène Riché 288

VII. — *Gazogènes à tirage renversé* 290

1. — Gazogène Koerting..... 292
2. — Gazogène Pintsch 293
3. — Gazogènes Letombe 293
4. — Gazogène Fauché-Chavanon 298
5. — Gazogène Fornas..... 299

VIII. — *Gazogènes à récupération totale* 301

1. — Gazogène Mond 302
2. — Gazogène Duff 304

IX. — *Gazogènes à combustibles spéciaux* 306

1. — Gazogène Letombe pour combustibles cendreux..... 307
2. — Gazogène de la Société de matériel agricole de Vierzon pour bois 311
3. — Gazogène Pintsch pour lignite 312
4. — Gazogène Koerting pour lignite..... 312
5. — Gazogène Otto pour lignite 313
6. — Gazogène Winterthur pour tourbe 314
7. — Gazogène Galaine et Houlbert 316

CHAPITRE VIII. — **Les dispositions auxiliaires**..... 318

I. — *Production des gaz.* 318
II. — *Epuration des gaz* 324

CHAPITRE IX. — **Les applications**..... 345

I. — *L'éclairage* 345
II. — *Le chauffage* 350
III. — *La puissance motrice* 362
IV. — *Le programme national de carbonisation* 369

BIBLIOGRAPHIE..... 377

Orléans. — Imp. H. TESSIER.

GAZOGÈNES SALMSON

à sole tournante

.....

MOTEURS A GAZ PAUVRE

BOLLINCKX

Groupes de 30 à 600 HP.

.....

LES FILS DE

E. SALMSON

58, Rue Lafayette

PARIS

GAZOGÈNES CROSSLEY

A DÉCHETS DE BOIS, DE CHANVRE,

A TOURBE, A LIGNITES, AUX GRIGNONS D'OLIVE,

DÉCHETS D'ARACHIDES,

A DÉCHETS DE TANNERIE, A SUIE DE LOCOMOTIVE.

Extracteurs de goudron, système CROSSLEY, breveté

Agents exclusifs pour la France

Établissements DIÉNY & LUCAS

Société Anonyme au Capital de francs 3.500.000

50, rue Taitbout, **PARIS**

TÉLÉPHONE : { CENT. 26-02 / GUT. 24-80

S. M. I. M.

SOCIÉTÉ DE MOTEURS A GAZ ET D'INDUSTRIE MÉCANIQUE

Société Anonyme au Capital de 9.000.000 *de francs*

MOTEURS A GAZ — GAZOGÈNES

Moteurs Diesel et Semi-Diesel

Pompes centrifuges à haute et basse pression

Appareils Frigorifiques

Système **"FIXARY"**

Télégrammes :	*Siège Social :*	*Téléphone :*
OTTOMOTEUR-PARIS	135, rue de la Convention, PARIS	SAXE { 74-13 / 74-14 / 74-15

GAZOGÈNE IGNIS

Appareils utilisant le charbon de bois, l'anthracite et le coke.

Appareils spéciaux pour le bois, la tourbe, la tannée et les déchets ligneux.

Installations complètes de chauffage industriel.

Exhausteurs rotatifs et centrifuges
Régulateurs automatiques de débit.

Brûleurs spéciaux de gaz pauvre.

Fers à souder.

Installations complètes de Force motrice.

Moteurs verticaux et horizontaux

A. BÉCHEVOT & Cie

18, Rue Godot de Mauroy, PARIS

ATELIERS DE CONSTRUCTION

à ÉVREUX (Eure)

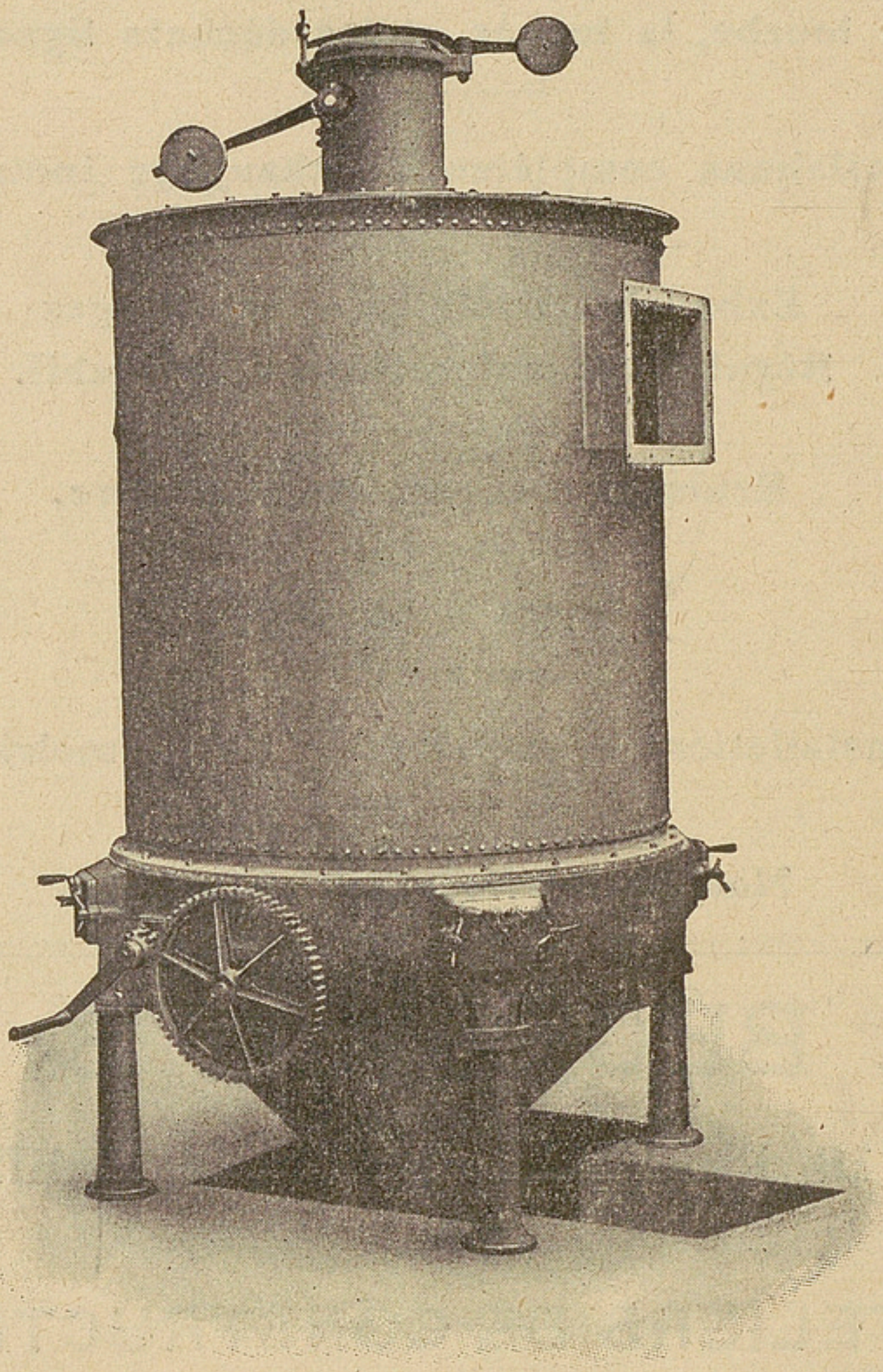
SOCIÉTÉ SUISSE POUR LA CONSTRUCTION
DE LOCOMOTIVES ET DE MACHINES

Winterthur

Georges ANGST, Ing. E. C. P.

Concessionnaire exclusif pour la France et Colonies

PARIS - 27, Rue de Châteaudun, 27 - PARIS



Gazogène " Winterthur " à sole tournante actionnée mécaniquement, avec décendrage automatique.

GAZOGÈNE "LABBÉ"

Construction française — Peut alimenter tout Moteur à Gaz pauvre et produire du Gaz

pour :

Chauffage industriel de Fours

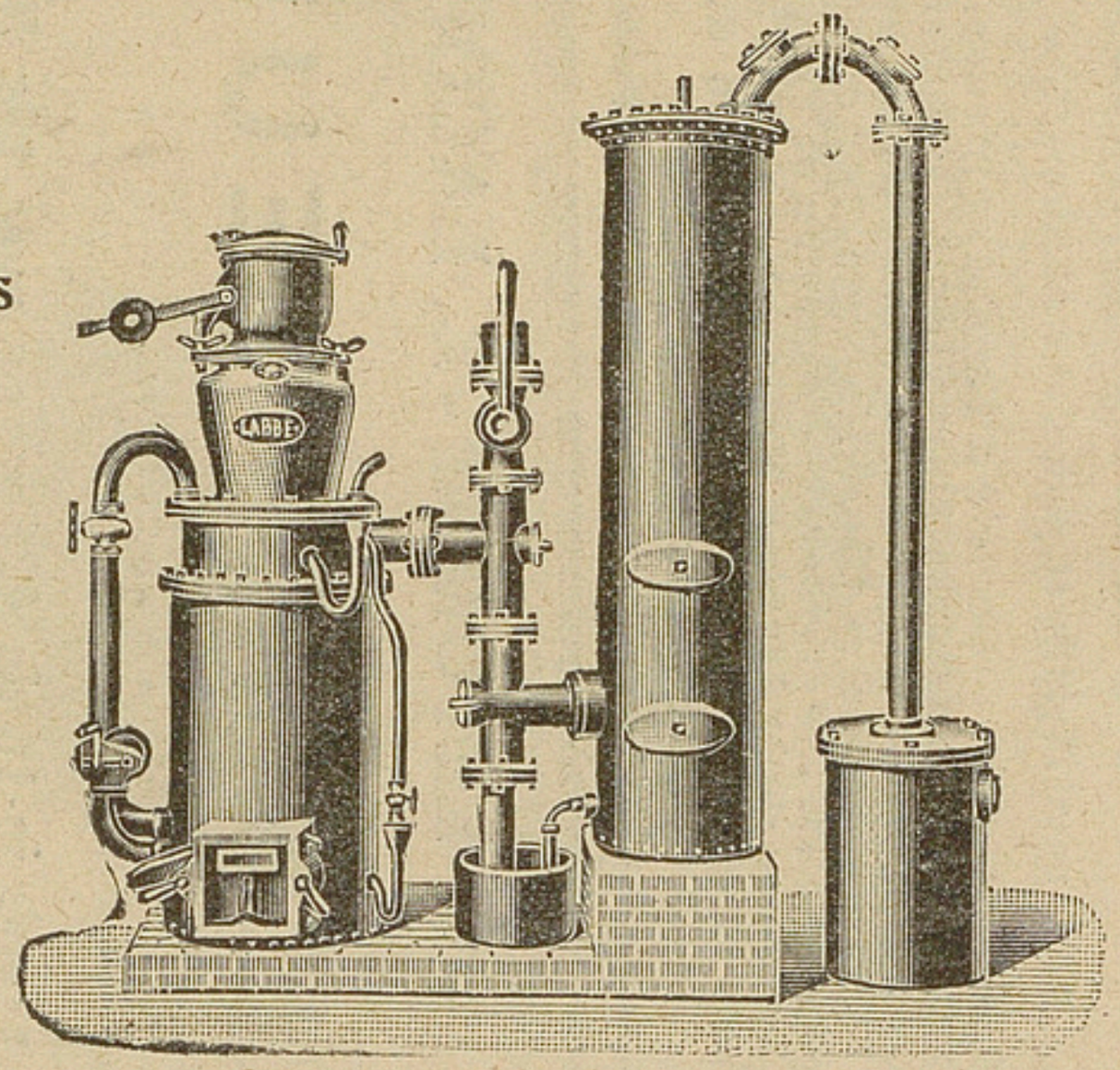
Réchauffage, Trempe

Recuit, Revenu, Vernissage

Cémentation, Fusion

Brasage

Émaillage, etc.



en utilisant :

Les Charbons maigres

Le Charbon de Bois

Les Anthracites

Belges et Anglais

et

LE COKE

208, Rue de Saint-Maur, 208 — **PARIS**

Téléphone : NORD 33-98 — Métro : COMBAT — Adr. Télégr. : LABBÉ-MOTEURS-PARIS

J.-A. LENCAUCHEZ

Ingénieur civil des Mines

43, Rue de Dunkerque et 156 boul. Magenta, PARIS (Xe)

TÉLÉPHONE : NORD 05-81

Ingénieur-conseil en matières de chauffages industriels — Gazogènes, récupérateurs et fours pour la Métallurgie et toutes industries. Foyers mécaniques, etc

Fours Martin et Fours à Réchauffer dits Poussants et Fours divers installés

FOURS TUNNELS POUR LA DESSICCATION ET DISTILLATION DES BOIS

Fours pour Tôles et Fers-blancs

GAZOGÈNE A DÉCRASSAGE AUTOMATIQUE

pour Houille et petit Coke métallurgique

Société des Métaux. — **Société d'Escaut et Meuse.** — **Société des Laminoirs à tubes d'Iékatérinoslaw** (Russie). — **Aciéries de France. MM. Championnet et Cie,** à Gueugnon. — De **M. Mouton,** à Saint-Denis. — **MM. De Wendel et Cie,** à Hayange (Lorraine). — **MM. Viellard Migeon et Cie,** à Morvillars. — **Aciéries et Forges** de St-Pétersbourg.— **Fonderie de la Marine Nationale,** à Ruelle (Charente). — **Pyrotechnie Militaire,** à Bourges. — **Émaillerie du Pied-Selle,** à Fumay. — **Cie d'Orléans,** à Tours, etc., etc.

L. LETOMBE - L. LACOIN

LES MOTEURS

2e *Édition*

1920, 1 vol. in-16 de 426 pages, avec 135 fig. — 15 fr.

A. WITZ

La MACHINE à VAPEUR

3e Édition

1913, 1 vol. in-16 de 432 pages, avec 114 fig. — 10 fr.

HEURTEY & SAUVAGEON

Ingénieurs des Arts et Manufactures

Successeurs de FICHET et HEURTEY — Maison fondée en 1872

7, Rue de Pétrograd, PARIS (8e) — *Tél. : Gut.* 25-98

FOURS & GAZOGÈNES

Chauffages Industriels — Force motrice du gaz

GAZOGÈNES à sole tournante à marche continue

FOURS POUR LA MÉTALLURGIE
à réchauffer, à recuire, à tremper, à cémenter

FOURS pour la FABRICATION des PRODUITS CHIMIQUES

Installations complètes de VERRERIES

FOURS à Bassins et à Pots à récupération

ARCHES et FOURS à RECUIRE

FOURS-TUNNELS et à CHAMBRES à marche continue

POUR PORCELAINE, FAIENCE et PRODUITS CÉRAMIQUES

NOMBREUSES RÉFÉRENCES

Société des Appareils de Manutention et Fours Stein

48, Rue de la Boëtie

PARIS (8e)

TÉLÉPH. ÉLYSÉES

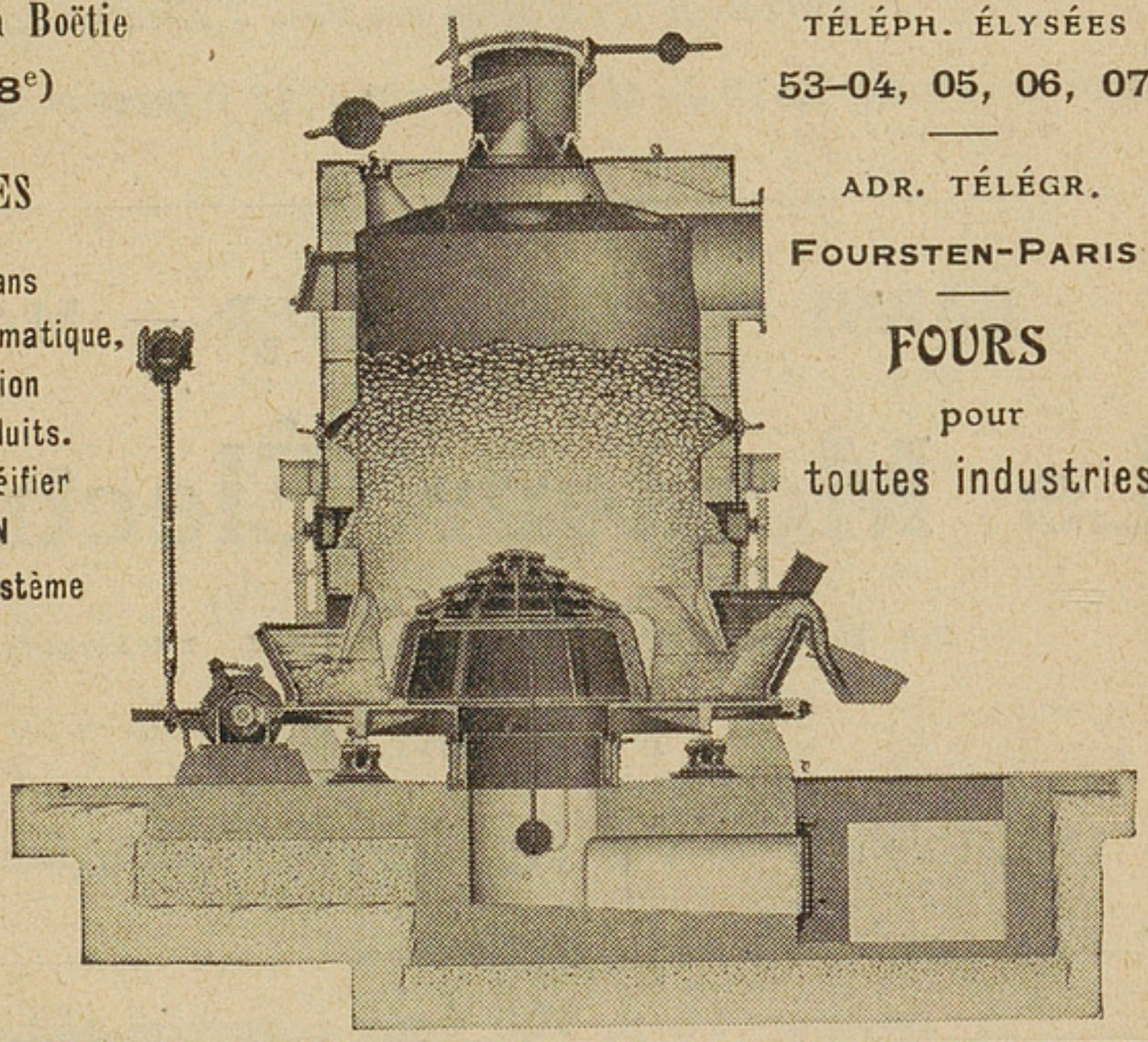
53-04, 05, 06, 07

ADR. TÉLÉGR.

FOURSTEN-PARIS

GAZOGÈNES

Avec ou sans décrassage automatique, à récupération de sous-produits.
Appareil à gazéifier
CHAPMAN
[Gaz à l'eau, système
CUTLER



FOURS
pour
toutes industries

Librairie J.-B. BAILLIÈRE et FILS, 19, Rue Hautefeuille, à PARIS

PRÉCIS

d'Électricité Industrielle

Par R. BUSQUET et E. MAREC

Ingénieur en chef de l'éclairage de la ville de Lyon

Ancien Chef de travaux à l'École supérieure d'Électricité de Paris

1919, 2 volumes in-8 de 879 pages, avec 669 figures... 24 fr.

FORMULAIRE AIDE-MÉMOIRE DE

L'ÉLECTRICIEN PRATICIEN

Par E. MAREC

Ancien chef de travaux à l'École supérieure d'Électricité de Paris

Directeur de Station centrale d'Électricité

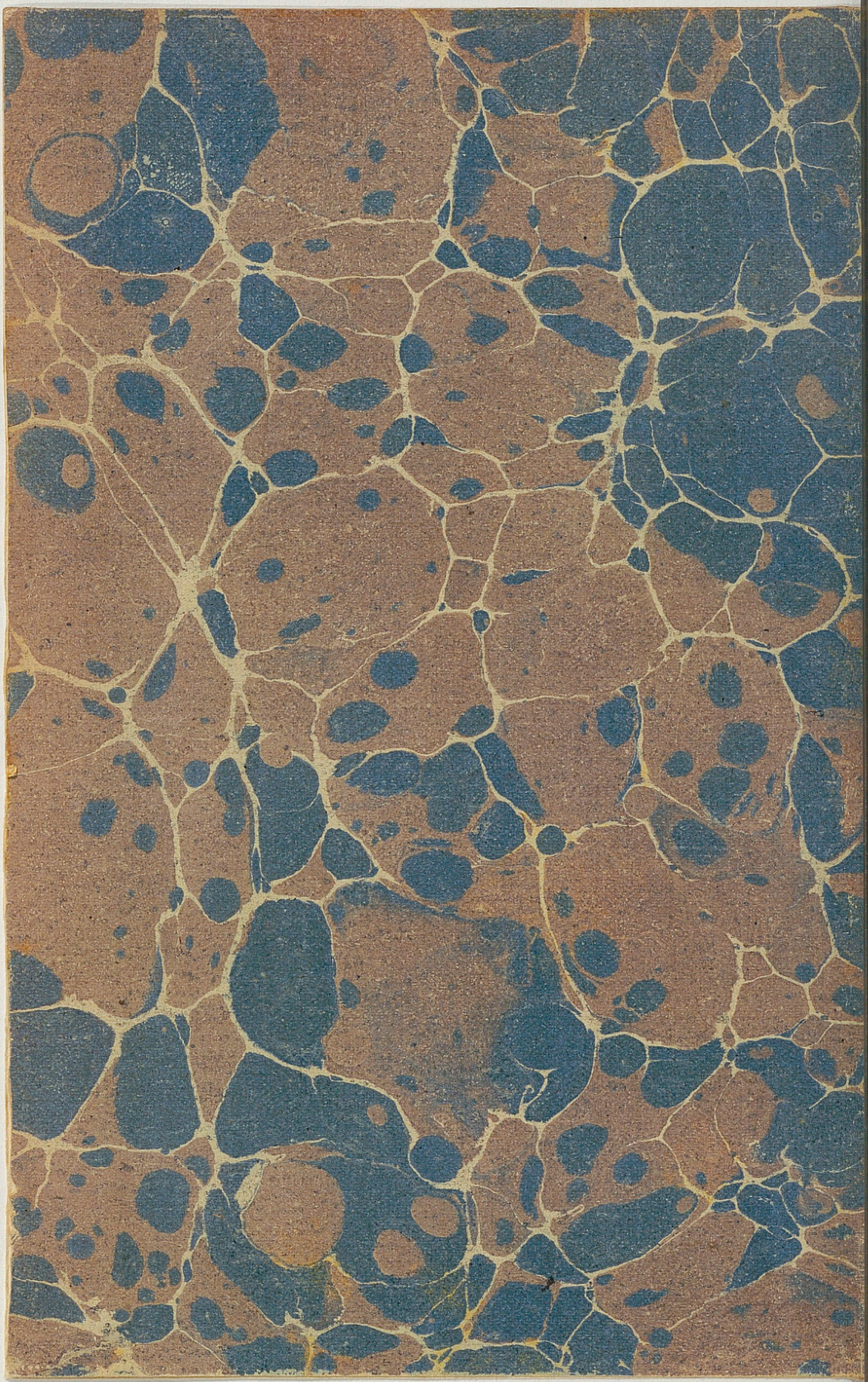
1920, 1 volume in-18 de 466 pages avec 348 figures et tableaux. 12 fr.

BARNI — MONTPELLIER — MAREC

Le Monteur Électricien

5e Édition entièrement refondue

Par E. MAREC

1921, 1 volume in-16 de 576 pages, avec 350 figures.. 15 fr.

Ajouter 10 p. 100 pour recevoir franco.