



# LA CHAUFFERIE MODERNE

---

## LES FOYERS DE CHAUDIÈRES

*Leur Construction, leurs Accessoires  
leurs Services Annexes*

PAR

**André TURIN**

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

---

DEUXIÈME ÉDITION

---

PARIS



92, RUE BONAPARTE (VI)

1925

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays



ULTIMHEAT®  
VIRTUAL MUSEUM





# GENEVET & C<sup>ie</sup>

**TIRAGE MÉCANIQUE** ( Foyer Aéro-Economiseur  
Foyer Mécanique Doby ::

**ALIMENTATION AUTOMATIQUE**

:: **FUMIVORE AUTOMATIQUE** ::

**RÉGULATEUR DE COMBUSTION**

:: **RÉCHAUFFEUR D'AIR** ::

Plus de ... **2000** Installations

**Étude GRATUITE**  
:: de toutes questions de **CHAUFFERIES**

**CONSULTEZ-NOUS !...**

Tél. Élysées 14-39  
R. C. Seine 78.693

37, Boulevard Maiesherbes, **PARIS**

# BASCULES ÆQUITAS

**AUTOMATIQUES - ENREGISTREUSES - TOTALISATRICES**

*BASCULES PORTATIVES de 50 à 1.500 kilos*

**PONTS à BASCULES de 1.000, 1.500 et 2.000 kgs**  
pour Chaufferies

**BASCULES POUR VOIES DE MONORAILS**

**PONTS à BASCULES de 2 à 100 Tonnes**

**MANUFACTURE D'HORLOGERIE DE BÉTHUNE**

(SECTION DE MÉCANIQUE)

Service Commercial : 8, RUE DE RICHELIEU, PARIS

TÉLÉPHONE : GUT. 61-11, 61-12.

# LES FOYERS MARGO

*Système Breveté S. G. D. G.*

**Utilisation parfaite de tous Déchets combustibles**

:: Bois, Sciures, Copeaux, Écorces, Dosses ::

\_\_\_\_\_ Tannée, Balle de Riz \_\_\_\_\_

Coques d'Arachides, Grignons d'Olives, etc.

\*\*\*

**APPLICATION à tous SYSTÈMES**

:: :: de CHAUDIÈRES :: ::

\*\*\*

**RENSEIGNEMENTS ET DEVIS**

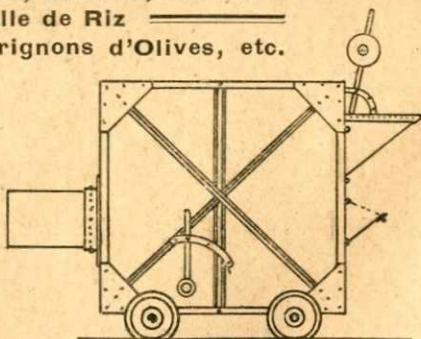
Gratuits

:: SUR DEMANDE ::

\*\*\*

**GARANTIES DE DURÉE ET DE RENDEMENT**

**18, PLACE DES FÊTES, CLICHY (SEINE)**





# ÉCONOMIE PAR L'EFFICACITÉ

.....

*L'Économie dans les installations ne peut être obtenue qu'en faisant un contrôle sévère de la combustion.*

*Vous pouvez y arriver en employant nos*

**COMPTEURS  
DE VAPEUR**

◇ ◇ ◇

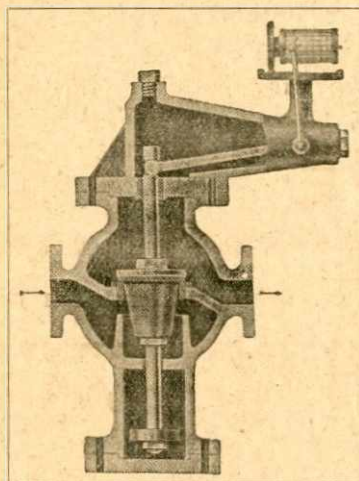
**COMPTEURS  
D'EAU**

◇ ◇ ◇

**DÉPRIMOMÈTRES**

◇ ◇ ◇

**THERMOMÈTRES**



COMPTEUR DE VAPEUR

**PYROMÈTRES**

◇ ◇ ◇

**ANALYSEURS**

◇ ◇ ◇

**RÉCHAUFFEURS**

◇ ◇ ◇

**ALIMENTATEURS**

et

**Accessoires**

**RÉCHAUFFAIRS brevetés S. G. D. G.**

**DÉSHUILEURS et SÈCHEURS**

---



---

## KATER et ANKERSMIT

Ingénieurs-Constructeurs

6, Rue de Madrid, PARIS (8<sup>e</sup>)

Télégrammes : Séparateur-Paris.

Téléphone : Wagram 61-82.



# ATOMISEUR REX

Chauffage Industriel au Charbon Pulvérisé

## SECBA

Société Anonyme au Capital de 2.240.000 Francs

SOCIÉTÉ FRANÇAISE  
de Chauffage au Charbon Pulvérisé

SIÈGE SOCIAL :

23, Rue Ballu -:- PARIS (9<sup>e</sup>)

Téléphone : GUTENBERG 70-36.

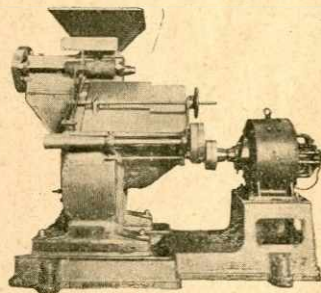
BUREAU TECHNIQUE :

74, Rue Berzelius -:- PARIS (17<sup>e</sup>)

Téléphone : MARCADET 04-27.

Adresse Télégraphique : SECBAGRAM - PARIS.

R. C. n° 75.705, Paris.



## “FOYERS-RECORD”

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 350.000 FRANCS

20-22, Rue Richer, PARIS (IX<sup>e</sup>)

Télègr. : Evaporator-Paris.

R. C. Seine, N° 216.261 B.

Téléph. : Berg. 64-12.

FOYER-RECORD I. - Soufflé par ventilateur.

FOYER-RECORD II. - Soufflé par ventilateur avec réglage automatique de l'air de combustion.

FOYER-RECORD III. - Avec chargement mécanique.

FOYER-RECORD IV. - Grille à chaîne avec chargement, décrassage et mouvement automatiques.

SURCHAUFFEUR de VAPEUR à barre hélicoïdale.

TIRAGE MÉCANIQUE avec réglage rhomboidal.

PRODUCTION ET UTILISATION DE LA CHALEUR

*Demander nos Notices et nos Références*

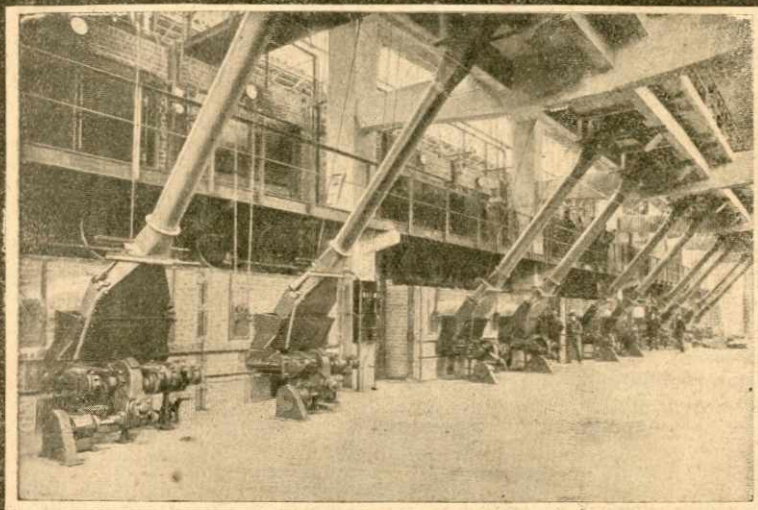


# FAMA

Société Anonyme au Capital de 500,000 Fr<sup>s</sup>

FOYERS AUTOMATIQUES MACHINES AUXILIAIRES

8, RUE BLANCHE, PARIS



LES SUPERCENTRALES : UNION D'ÉLECTRICITÉ  
C<sup>ie</sup> PARISIENNE DE DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ  
ONT ADOPTÉ LE

## FOYER

AUTOMATIQUE

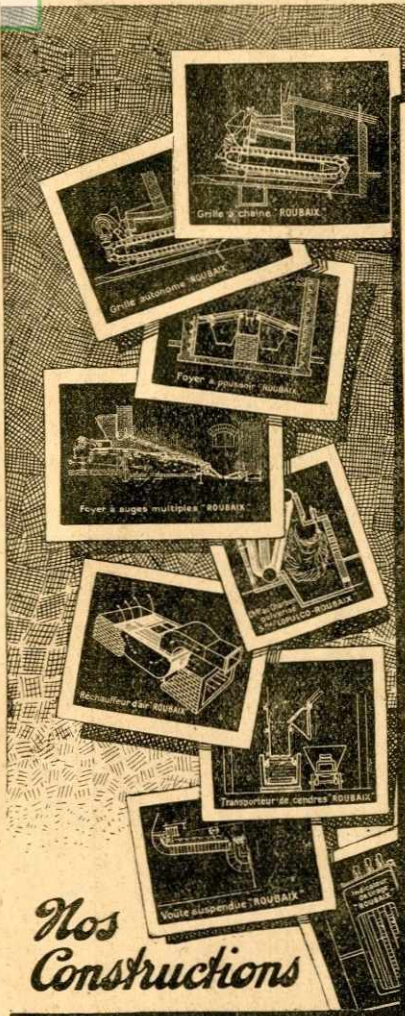
## RILEY



TÉL.  
TRUDAINE  
24-73

SEINE 107.068





*Nos  
Constructions*

**N**OUS construisons six types principaux de foyers, répondant à des besoins et à des conditions d'exploitation différents :

- Grille à chaîne ROUBAIX
- Grille autonome ROUBAIX
- Foyer à poussoir ROUBAIX
- Foyer à auges multiples ROUBAIX
- Grille semi-automatique ROUBAIX
- Chauffage au charbon pulvérisé
- Système LOPULCO-ROUBAIX

Vous pouvez donc attendre de nous un avis judicieux sur le choix à faire pour chaque application, notre intérêt n'étant pas de vous vendre, dans tous les cas et à tout prix, un appareil unique, mais bien celui qui vous rendra les meilleurs services.

Nous construisons en outre les :

- Réchauffeur d'air ROUBAIX
- Transporteur de cendres ROUBAIX
- Voûte suspendue ROUBAIX
- Indicateur de tirage ROUBAIX
- Analyseur de gaz ROUBAIX

En un mot nous pouvons étudier et livrer des installations englobant

**tout ce qui concerne la combustion** et vous présenter ainsi un ensemble homogène avec les plus sérieuses garanties de fonctionnement et de rendement.

Si vingt années de spécialisation, de progrès continuels et de construction irréprochable sont de nature à nous valoir votre confiance.

**Consultez-nous!**

# FOYERS AUTOMATIQUES "ROUBAIX"

S.A. au Capital de 2 100 000 Francs  
11 bis Rue d'Aguesseau PARIS  
Téléph. Elysées 19-38 et 19-55



MARCA Publicité



# Générateurs **KESTNER**

Grande **SOUPLESSE**  
**RENDEMENT** élevé

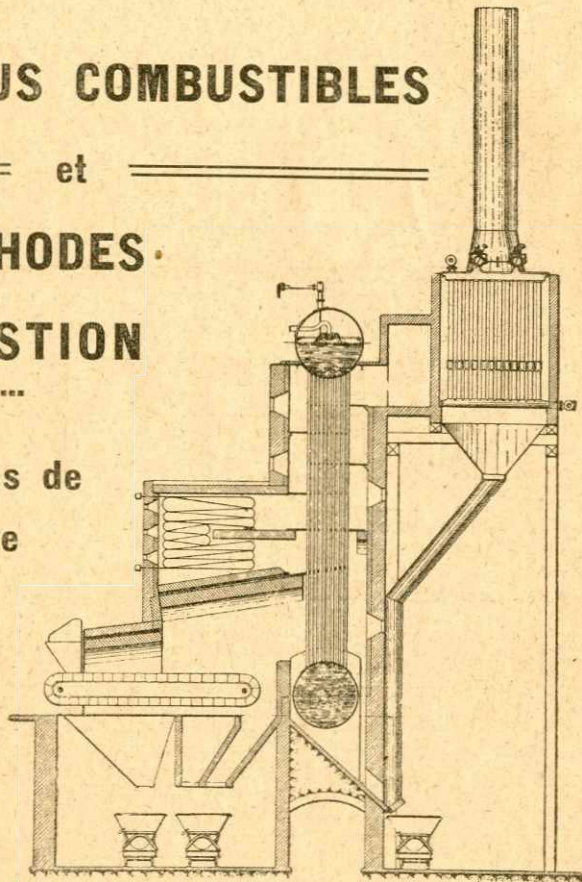
Adoptent **TOUS COMBUSTIBLES**

et

Toutes **MÉTHODES**  
de **COMBUSTION**

Références de  
premier ordre  
pour le

**CHARBON**  
**PULVÉRISÉ**



LILLE : 7, rue de Toul.

BRUXELLES : 47, rue Fossé-aux-Loups.





# ROSER

CONSTRUCTEUR

*38, Rue de la Briche, 38*

**SAINT-DENIS**

---

**CHAUDIÈRES**

# ROSER

Tubulaires et semi-tubulaires

pour toutes applications  
utilisant tous modes de chauffage

**SURCHAUFFEURS - - -**

**TUYAUTERIES - - -**

**GROSSE CHAUDRONNERIE**

MAISON FRANÇAISE





**ÉCONOMIE DE COMBUSTIBLE**  
par la méthode de vaporisation



# LE WILLIAM'S

### *Augmentation de la puissance et du rendement :*

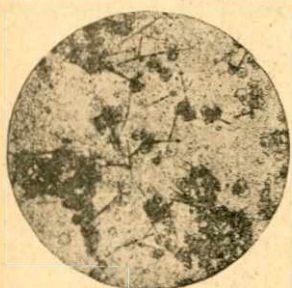
- Application industrielle du principe de Gernez ;
- Suppression des résistances à la formation et au dégagement de la vapeur ;
- Amélioration de la vaporisation et de la circulation.

### *Propreté permanente des chaudières :*

- Maintien des sels incrustants en circulation à l'état de corpuscules amorphes très ténus et légers ;
- Évacuation journalière des dépôts ; ni tartres, ni boues, ni graisses.

### *Suppression des corrosions :*

- Stabilisation des chlorures et nitrates aux plus hautes températures atteintes dans les chaudières. Arrêt de l'action corrosive de l'oxygène.



Sans William's : cristaux

Micro-photographies indiquant la différence d'état physique des sels incrustants dans les chaudières traitées et dans les chaudières non traitées.



Avec William's : pas de cristaux

Vanne spéciale d'extraction manœuvrable à distance par la vapeur et à fermeture automatique

#### CONSULTER LES OUVRAGES

- Essai théorique et pratique sur la VAPORISATION* (de WICKERSHEIMER, Insp' gén. des Mines).
- Rendement des chaudières de locomotives — Chaudières marines et Bouilleurs* (de Paul Bez ✱). DUNOD, Editeur.

## CASIMIR BEZ ET SES FILS

PARIS, 19, Avenue Parmentier

Téléphone : ROQUETTE 19-54 et 87-60 -:- Adresse télégraphique : LE WILLIAMS-PARIS  
Brevets S. G. D. G. en France et à l'Étranger

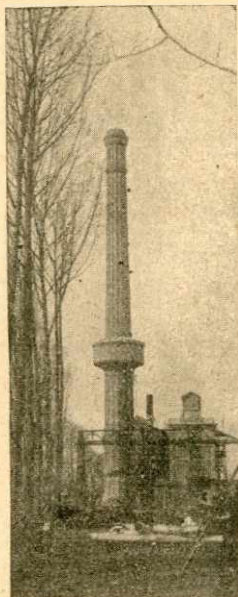
Services Techniques : Paris, Marseille, Lyon, Bordeaux, Lille, Nantes, Le Havre, Rouen, Brest, Saint-Etienne, Le Creusot, Loran, Strasbourg, Bruxelles, Barcelone, Alger.  
Usines et Ateliers : Paris, Saint-Denis, Marseille, Loran.

Reg. Com. Seine N° 148.469.





**CHEMINÉES - CHATEAUX D'EAU - RÉFRIGÉRANTS  
RÉSERVOIRS**



**SOCIÉTÉ D'EXPLOITATION  
DES  
BREVETS "MONNOYER"**

DIRECTION GÉNÉRALE  
125, Avenue des Champs-Élysées, PARIS (8<sup>e</sup>)  
Tél. ÉLYSÉES 61-77, 61-78

LE NOMBRE D'OUVRAGES EXÉCUTÉS DEPUIS 1908  
DÉPASSE LE CHIFFRE 1000

PRINCIPALES RÉFÉRENCES :

Ministère de la Guerre . . . . .	37
— de la Marine . . . . .	9
Chemins de fer de l'Est . . . . .	57
— du Nord . . . . .	21
— P.-L.-M. . . . .	11
Mines . . . . .	46
Grandes Centrales . . . . .	43
Cimenteries . . . . .	20

**Études, Prix et Devis**  
gratuitement sur demande

**PRODUITS RÉFRACTAIRES**

*Pour vos Chaudières, consultez la*

**Compagnie Générale de Construction de Fours**

8, Place des États-Unis, à MONTROUGE

*qui est à même de vous fournir dans chaque  
cas les produits les plus appropriés.*

R. C. Seine, 72.569.

Téléphone : Ségur 92-63, 92-64.



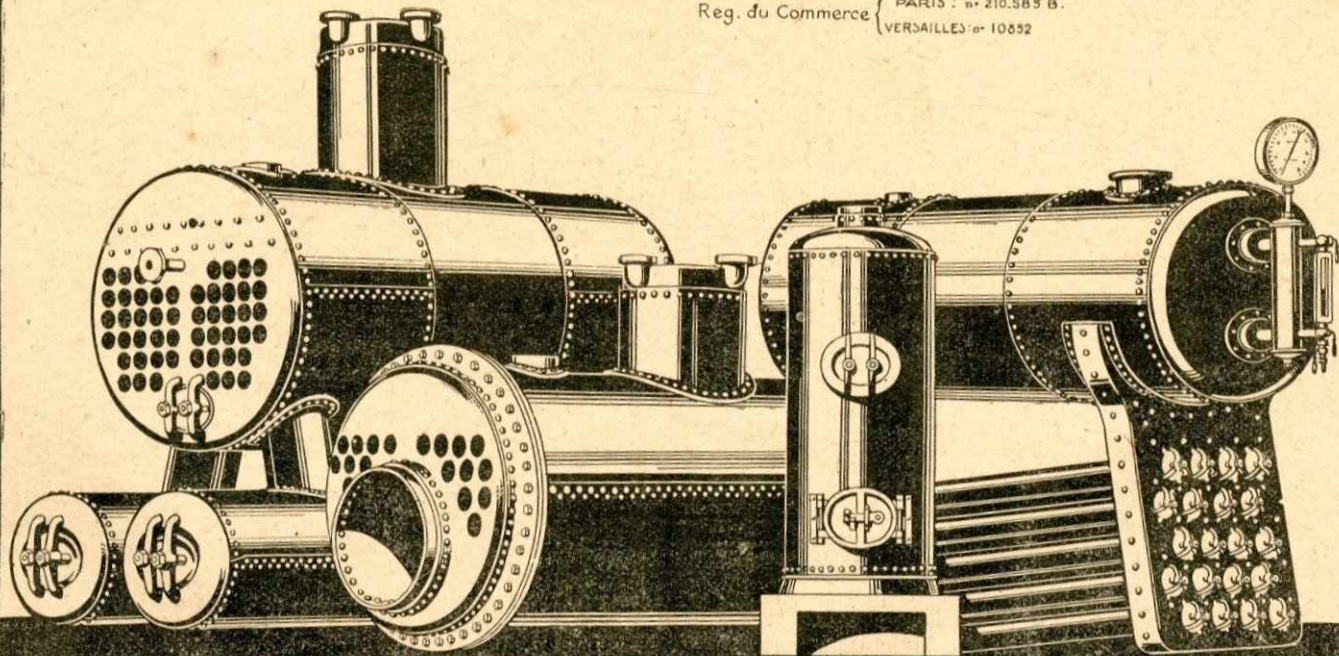
**EJALG**  
PARIS

ÉTAB<sup>TS</sup> **JOLY D'ARGENTEUIL LEROUX & GATINOIS RÉUNIS**

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 1.500 000 FRANCS

19 à 25 Rue de la Voûte . PARIS

Reg. du Commerce { PARIS : n° 210.585 B.  
VERDAILLES n° 10852



**Les Générateurs LEROUX & GATINOIS**  
*semi-tubulaires - à foyer amovible - Field - multitubulaires - etc*

VIRTUAL MUSEUM

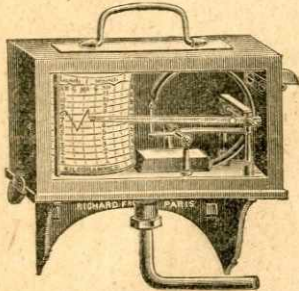


ULTIMHEAT®

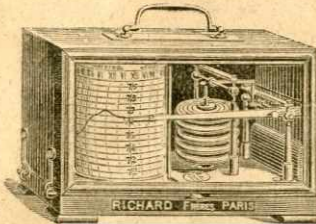


# ENREGISTREURS

pour les Sciences et l'Industrie



Manomètre enregistreur



Baromètre enregistreur

Baromètres, Thermomètres, Hygromètres  
Anémomètres, Pluviomètres, Évaporomètres,  
Psychromètres, Actinomètres, Néphomètres,  
Héliographes, Chronographes, Sismographes,  
Hydromètres, Manomètres, Cinémomètres,  
Dynamomètres, Pyromètres, Densimètres,  
Calcimètres, Ampèremètres, Voltmètres,  
Wattmètres, Ohmmètres, Milliampèremètres,  
etc. etc.

APPAREILS POUR LA STÉRÉOSCOPIE  
sur plaques 45×107 et sur pellicules, se chargeant  
en plein jour.

VÉRASCOPE · GLYPHOSCOPE · TAXIPHOTE · HOMÉOS

ENVOI FRANCO DU CATALOGUE

Établ<sup>ts</sup> Jules RICHARD 25, r. Mélingue  
PARIS

VENTE AU DÉTAIL : 10, Rue Halévy (Opéra).  
EXPOSITION et DIAPOSITIFS : 7, rue Lafayette.

## SOCIÉTÉ WILTON

POUR

L'EXPLOITATION des PROCÉDÉS CHIMIQUES et FOYERS

BREVETÉS S. G. D. G.

Société Anonyme Française au Capital de 120.000 francs

SIÈGE SOCIAL : 233, Boulevard Antoine-Gautier } BORDEAUX  
BUREAUX : 20, Rue du Palais-de-l'Ombrière } (R. C. 1730 B.)

Agence Générale de PARIS : 1, Rue de l'Alboni. - Tél. Auteuil 25-59

20 o/o Augmentation  
de Vaporisation

Amélioration du tirage



MARQUE DE FABRIQUE

DÉPOSÉE

20 o/o Économie  
de Combustible

Amélioration du tirage

Le FOYER ÉCONOMISEUR WILTON procure une  
très grande économie avec TOUS les Combustibles

FOUSSIERES DE BON CHARBON gras ou maigres  
:: :: (Cardiff, Dourges, Anthracite, Ostricourt) :: ::

:: FOUSSIERES DE COMBUSTIBLES inférieurs ::  
(Poussiers de coke, Sciures de bois, Tannée humide, etc.)

MILLIERS D'INSTALLATIONS EN FONCTIONNEMENT



# HOTCHKISS ET C<sup>IE</sup>

CAPITAL : F<sup>cs</sup> 16.000.000

6, Route de Gonesse, SAINT-DENIS (Seine)

Adresse télégraphique :  
Hotchkiss, Saint-Denis-sur-Seine.

Téléphone :  
Nord : 38-41 — 38-38.

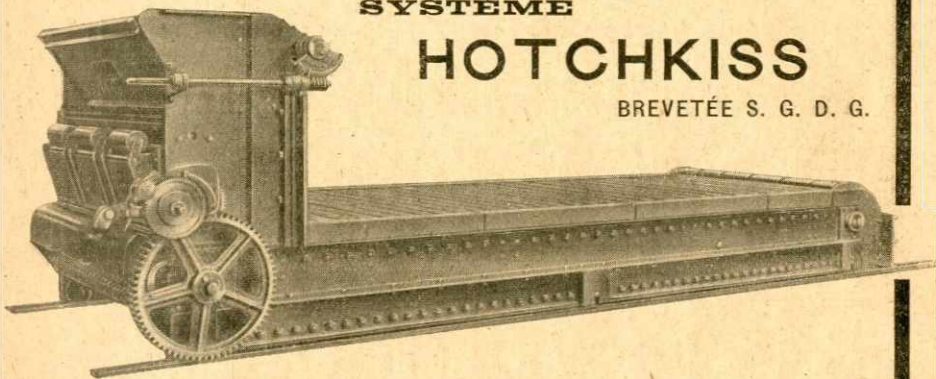
Registre du Commerce de la Seine : N° 30.280.

## LA GRILLE AUTOMATIQUE A CHAINE

SYSTEME

### HOTCHKISS

BREVETÉE S. G. D. G.



**FONCTIONNE** indifféremment au tirage naturel et au tirage soufflé.

**BRULE** tous les genres de combustibles.

**RÈGLE** automatiquement l'admission d'air  
d'un bout à l'autre de la grille.

Pour les chaudières à chargement à la main

## LE TIRAGE ÉQUILIBRÉ

Systeme classique de chauffe

Le seul réellement AUTOMATIQUE et RATIONNEL

Maximum d'économie

Maximum de puissance de vaporisation

RENSEIGNEMENTS SUR DEMANDE



Pour le  
**Chauffage de vos Générateurs**  
utilisez les

**Mauvais Combustibles**

Sciure, Copeaux  
— Tannée humide —  
Copeaux résidus des  
fabriques d'extraits - Bagasse  
- Cossette (Sucre de Canne) - Déchets de  
graines oléagineuses - Balle de riz -  
Déchets de teillage - Matières encom-  
brantes - Tourbe - Lignite, etc... :: :: ::

dans les FOYERS à COMBUSTION MÉTHODIQUE

construits  
= par

**ALEXIS-GODILLOT** 2, Rue Blanche  
= PARIS =

R. C. Seine, 229.

## LA VENTILATION INDUSTRIELLE ET MINIÈRE

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE SIX CENT MILLE FRANCS

PARIS (XVII<sup>e</sup>) — 31, Place Saint-Ferdinand — PARIS (XVII<sup>e</sup>)

Téléphone : Wagram 49-23

Télégrammes : Ventilmine - Paris.

### VENTILATEURS

### CHEMINÉES A

### TIRAGE MÉCANIQUE

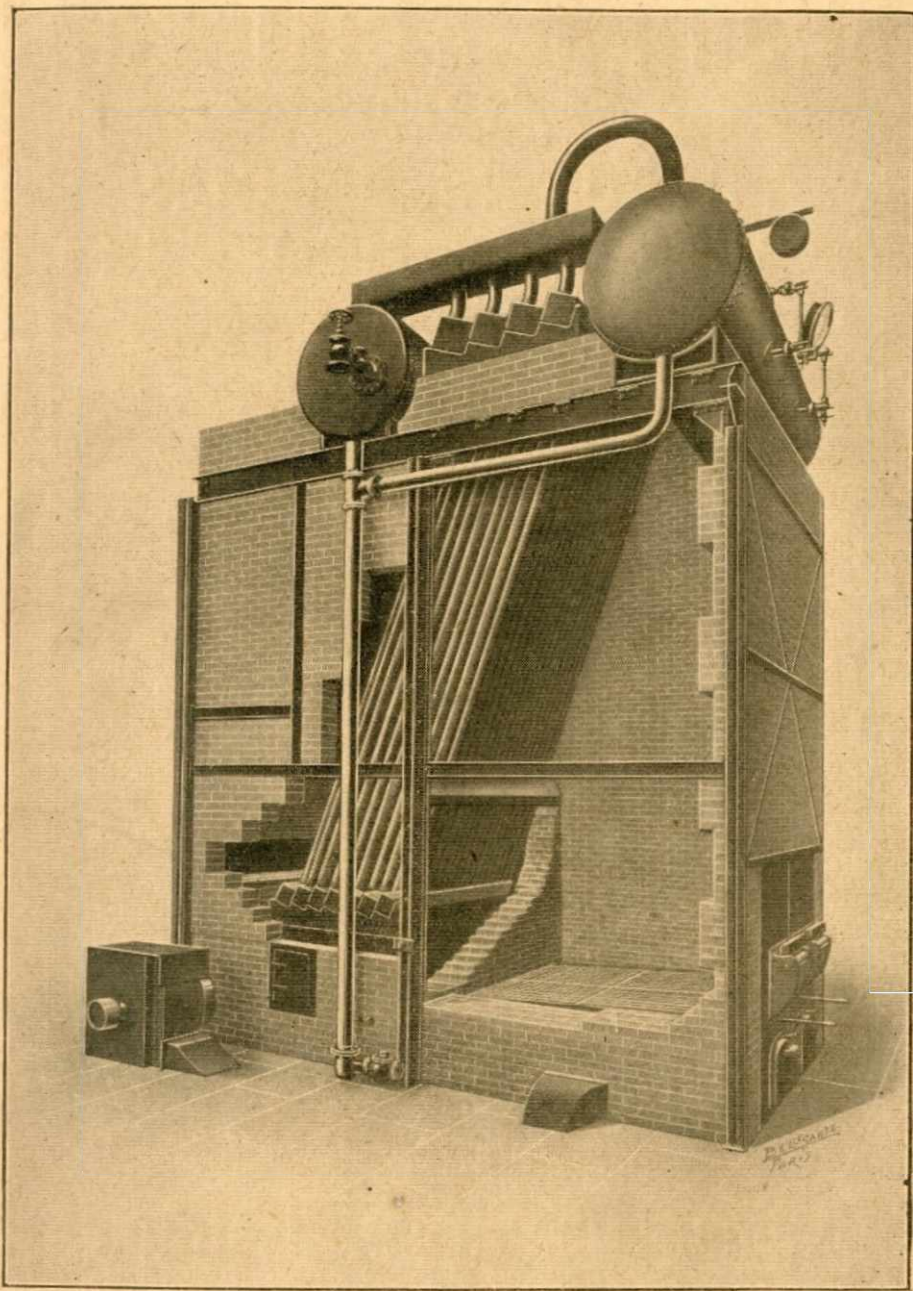
### RÉCHAUFFEURS D'AIR



# SOCIÉTÉ DES GÉNÉRATEURS BUSSAC

PARIS - 43, Rue Saint-Georges, 43 - PARIS

Téléphone TRUDAINE 16.05



Le plus Pratique, le plus Puissant, le plus Économique des GÉNÉRATEURS

LES FOYERS DE CHAUDIÈRES

b



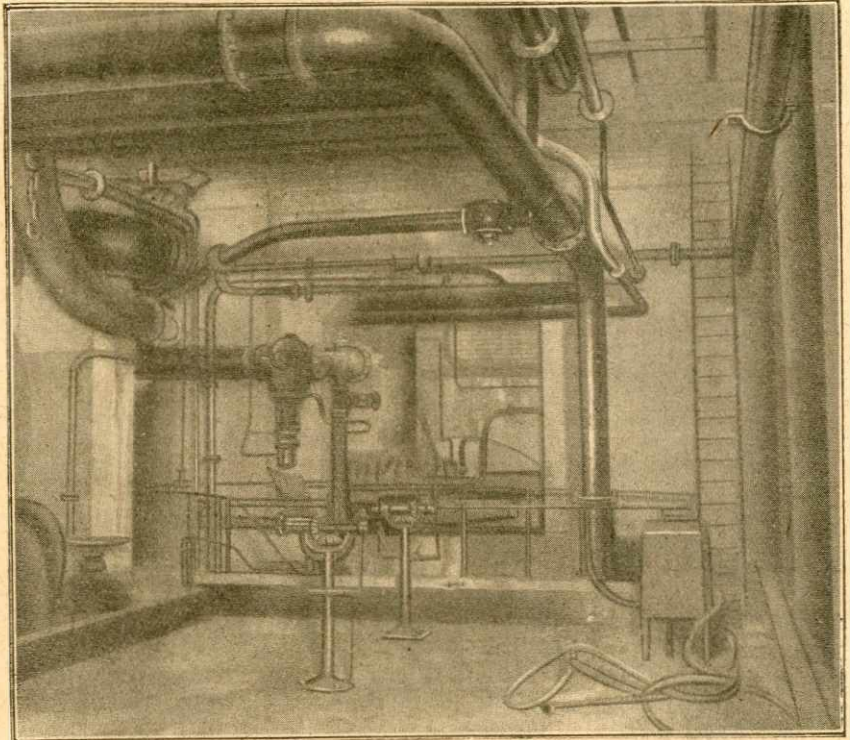
**A. STOFFT**

INGÉNIEUR E. C. P.

**AUBOURG & BAILLON**

**SUCCESEURS**

**TUYAUTERIES POUR  
CHAUFFERIES MODERNES**



**ÉTUDES COMPLÈTES**

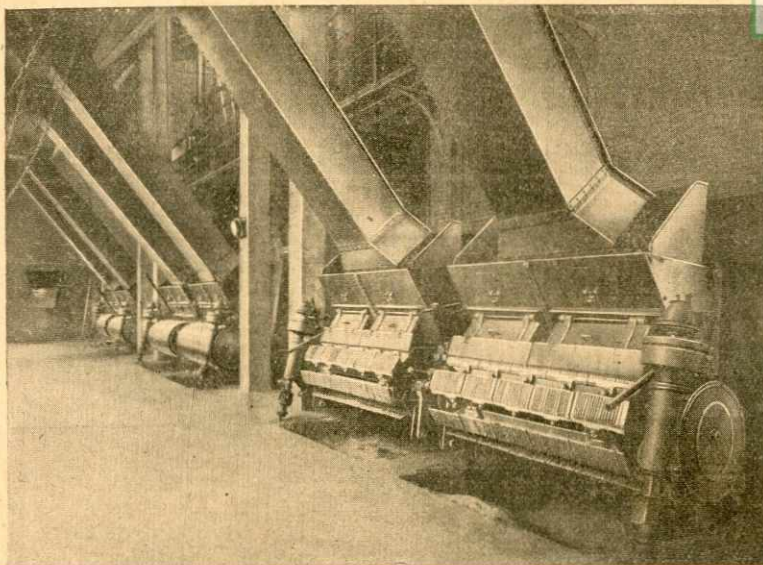
**SPÉCIALITÉ DE**

**Stations Centrales Électriques**

33 et 35, Rue Proudhon - LA PLAINE-ST-DENIS (Seine)

TÉLÉPHONE : NORD 15-10





Générateurs multitubulaires à flux direct produisant chacun 8.000 kg. de vapeur à l'heure installés aux Houillères de Montrambert et de la Béraudière

## CHAUDIÈRES A VAPEUR

POUR TOUTES APPLICATIONS ET TOUS SYSTÈMES DE CHAUFFAGE

à la Houille, au Charbon pulvérisé, au Gaz et aux Combustibles liquides

**Chaudières de Récupération**

Machines et Turbines à vapeur

Moteurs à gaz et installations d'épuration des gaz

ALTERNATEURS - DYNAMOS - GROUPES ÉLECTROGÈNES

INSTALLATION COMPLÈTE DE STATIONS CENTRALES & DE SOUS-STATIONS

AUTRES FABRICATIONS: Turbo-compresseurs - Machines et Turbo-soufflantes - Matériel électrique de toutes puissances et pour toutes applications - Traction électrique - Fils et Câbles électriques - Locomotives à vapeur - Matériel de Signalisation pour Chemins de fer - Machines pour l'industrie textile - Machines et Appareils pour l'industrie chimique - Machines-Cutis - Petit Outillage - Grues électriques "Passe-Partout" - Crics et Vérins UG. - Bascules - Transmissions.

**SOCIÉTÉ**  
de Constructions



**ALSACIENNE**  
Mécaniques

USINES A BELFORT (Terr. de), MULHOUSE (H.-Rhin), GRAFFENSTADEN (B.-Rhin)

MAISON A PARIS, 32, Rue de Lisbonne (8<sup>e</sup>)

AGENCES A :

BORDEAUX, 9, C<sup>o</sup> du Chapeau-Rouge.

ÉPINAL, 12, rue de la Préfecture.

19, r. de la Gare (Textile).

61, rue de Tournai.

LILLE, 10, r. Faidherbe (Textile).

LYON, 13, rue Grolée.

UNIS-FRANCE

MARSEILLE, 40, rue Sainte.

NANCY, 21, rue Saint-Dizier.

NANTES, 7, rue Racine.

ROUEN, 7, rue de Fontenelle.

TOULOUSE, 21, rue Lafayette.





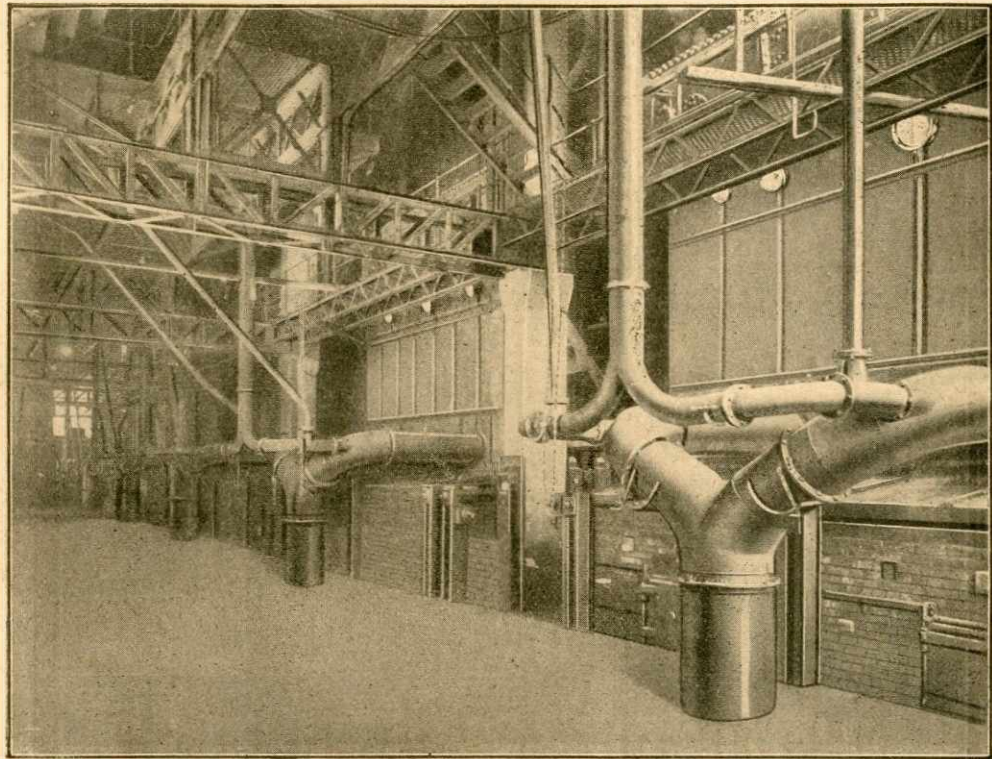
# S U C

SOCIÉTÉ ANONYME POUR L'UTILISATION DES COMBUSTIBLES

139, Rue du Faubourg-Saint-Honoré

**PARIS (8<sup>e</sup>)**

**Chauffage au charbon pulvérisé de fours et chaudières  
par Centrale  
et appareils individuels "Pulvéro-Brûleurs"**



Centrale de Thiers des Mines d'Anzin comportant 10 générateurs de 635 m<sup>2</sup> chauffés au charbon pulvérisé (fines maigres 9 à 11 0/0 de matières volatiles).

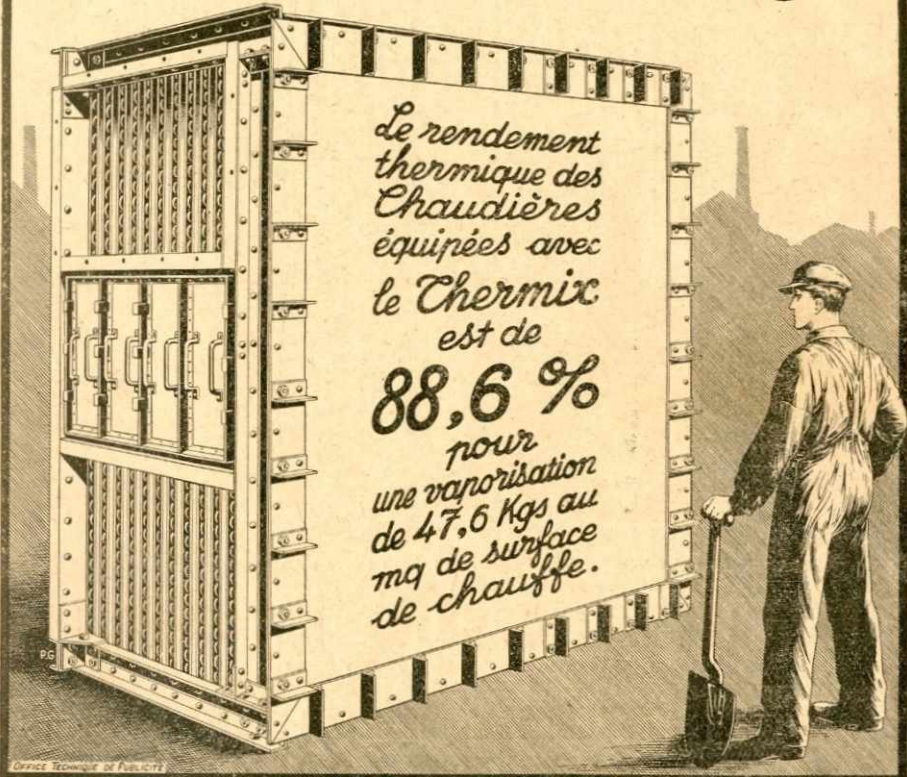
*Compte parmi ses principales références :*

Les Mines de Bruay, les Mines d'Anzin, la Compagnie du Nord-Ouest Électrique, la Soie Artificielle du Sud-Est, les Mines de Blanzy, les Forges et Aciéries de Pompey, les Mines de la Grand'Combe, les Mines de Béthune, les Houillères de Rochebelle, les Houillères de Ronchamp, etc., etc.





# *Le réchauffair* **THERMIX** *à la centrale de La Haye*



*Le rendement  
thermique des  
Chaudières  
équipées avec  
le Thermix  
est de*  
**88,6 %**  
*pour  
une vaporisation  
de 47,6 Kgs au  
mq de surface  
de chauffe.*

**Etablissements EMILE PRAT - DANIEL**

STÉ AN<sup>ME</sup> POUR L'EXPLOITATION DES BREVETS EMILE PRAT  
64, RUE DE MIROMESNIL, PARIS

Téléphone: WAGRAM, 89-56, 67-64

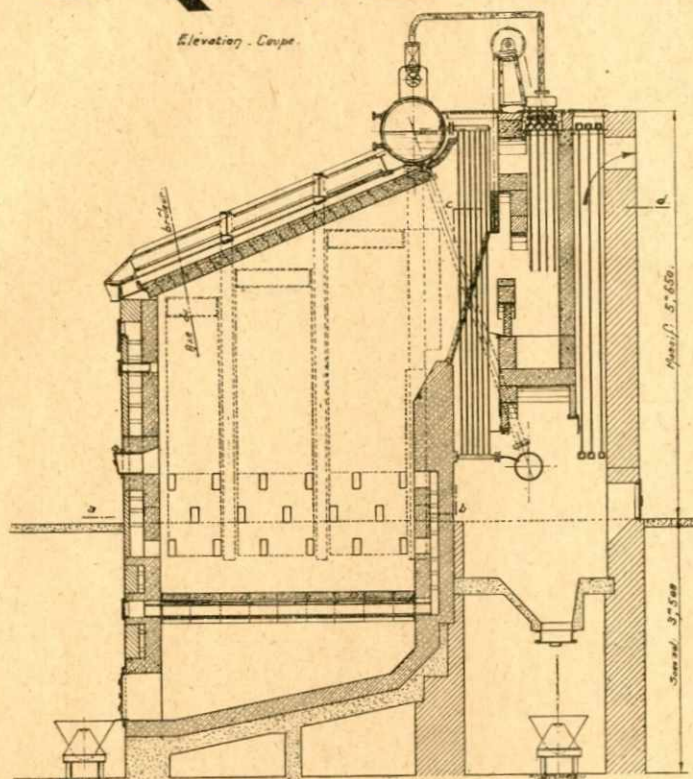
Telegrammes: PRATEMIL



R. C. SEINE 40-274



# :: CHAUDIÈRES VERTICALES :: DUQUENNE



Générateur chauffé au pulvérisé, muni de l'écran d'air Duquenne

## CIRCULATION INTENSIVE RATIONNELLE

Vaporisations et Rendements élevés

### :: GROUPES COMPLETS DE TOUTES PUISSANCES ::

Avec chauffe par Grilles mécaniques  
Gaz de hauts fourneaux, etc., etc.

### DISPOSITIONS BREVETÉES POUR LE CHARBON PULVÉRISÉ

*Écran d'air assurant la marche en cendres pulvérulentes*

### SURCHAUFFEURS :- RÉCHAUFFEURS :- ROBINETTERIE

## CAMILLE DUQUENNE, Ingénieur-Constructeur

6, Rue d'Ulm, PARIS (V<sup>e</sup>) - Téléph. Gob. 25-31

:: Ateliers et Station d'essai à VILLEMONTBLE (Seine) ::





**LES BONS OUVRAGES TECHNIQUES  
SONT DE PLUS EN PLUS RECHERCHÉS**

C'est à la Librairie

**DUNOD, ÉDITEUR**

== 92, Rue Bonaparte ==

Anciennement : 49, Quai des Grands-Augustins

COMPTE DE CHÈQUES  
POSTAUX : PARIS 7545 :::: **PARIS (VI<sup>e</sup>)**

Téléph. : Fleurus 33-43, 33-44, 33-45

que vous trouverez

***le catalogue le plus complet***

Il comprend les divisions suivantes :

ORGANISATION - ENSEIGNEMENT GÉNÉRAL ET PROFESSIONNEL  
MÉCANIQUE - AUTOMOBILISME - AÉRONAUTIQUE - ÉLECTRICITÉ  
TÉLÉGRAPHIE - TÉLÉPHONIE - CHIMIE ET ANALYSE CHIMIQUE  
INDUSTRIES DIVERSES - AGRICULTURE - ARCHITECTURE  
TRAVAUX PUBLICS - CONSTRUCTION - CHEMINS DE FER ET  
TRAMWAYS - GÉOLOGIE - MINES - MÉTALLURGIE

--: Le Catalogue, Édition 1924-1925, est envoyé franco sur demande :-





ULTIMHEAT  
VIRTUAL MUSEUM



Foyer pour Locomobile

# Foyers FREY

Sciures et tous  
Mauvais Combustibles

RILLY, près Reims

Les avant-foyers FREY permettent d'utiliser la sciure et tous les déchets, ils se construisent pour tous générateurs. Seuls, ils comportent les derniers perfectionnements : séchage préalable, chargement facile à la main ou mécaniquement, alimentation en air chaud, voûte à réverbération qui facilite le travail de chauffe, entretien des plus réduits. Ils se composent d'une grille inclinée formée de barreaux d'un modèle spécial dont les créneaux empêchent la sciure et les copeaux d'être entraînés par le tirage. Cette grille est prolongée : 1° dans le haut, par une trémie de chargement dont l'obturateur permet de régler la chute du combustible ; 2° dans le bas, par une grille horizontale oscillante qui permet de faire tomber la cendre. Construits en types ordinaires, forts et renforcés, les foyers FREY conviennent aux entreprises les plus modestes comme aux plus importantes. Ils sont livrés très rapidement. Le client, suivant son désir, exécute lui-même la garniture de briques, ou reçoit le foyer tout garni ou un monteur qui fait le travail sur place.

## DICTIONNAIRES TECHNIQUES ILLUSTRÉS

EN SIX LANGUES

FRANÇAIS - ALLEMAND - ANGLAIS - RUSSE - ITALIEN - ESPAGNOL

PAR

A. SCHLOMANN

Pour chaque branche de la Technique :  
Un Dictionnaire séparé

15 Volumes parus

I. - Éléments de machine, outils usuels. — II. - Electrotechnie. — III. - Chaudières, Machines, Turbines à vapeur. — IV. - Moteurs à combustion interne. — V. - Chemins de fer, construction et voie. — VI. - Chemins de fer, matériel roulant. — VII. - Appareils de levage et Installation de transport. — VIII. - Construction en béton armé. — IX. - Machines-Outils. — X. - Automobile et canots automobiles, dirigeables et aéroplanes. — XI. - Sidérurgie. — XII. - Hydraulique, Pneumatique, Technique du froid. — XIII. - Construction au-dessus et au-dessous du sol. — XIV. - Matières textiles. — XV. - La filature et les filés.

Pour paraître prochainement : XVI. - Technique du tissage.

TARIF ENVOYÉ SUR DEMANDE A LA  
LIBRAIRIE DUNOD, 92, Rue Bonaparte, PARIS (VI<sup>e</sup>)

CONCESSIONNAIRE EXCLUSIF

pour la FRANCE, la BELGIQUE et la SUISSE ROMANDE





ULTIMHEAT®  
VIRTUAL MUSEUM





ULTIMHEAT®  
VIRTUAL MUSEUM





## PRÉFACE DE LA PREMIÈRE ÉDITION

---

Dans notre étude sur la *Chaufferie Moderne*, nous nous sommes proposés, comme unique programme, d'indiquer et de discuter les conditions théoriques et les dispositions pratiques grâce auxquelles la vapeur peut être obtenue dans les meilleures conditions économiques.

Dans un premier volume nous avons traité les sujets : « *Alimentation des chaudières et tuyauteries de vapeur*. Nous présentons aujourd'hui au lecteur la seconde partie de notre étude : « *Les foyers de chaudières* ».

L'utilisation des combustibles constitue un problème à multiples aspects : on y voit intervenir non seulement le souci de se rapprocher de la combustion parfaite — question purement technique — mais aussi des facteurs d'ordre économique tels que le choix judicieux de la qualité du combustible, la recherche de la réduction des frais de main-d'œuvre et d'entretien...

Notre but sera pleinement atteint si chaque industriel trouve dans notre ouvrage les éléments qui lui permettront d'établir ou d'améliorer ses installations à ces divers points de vue.

Notre préoccupation a été surtout de dégager des idées générales, mais, dans l'étude des foyers particulièrement, il a bien fallu faire une place notable à des descriptions d'appareils, tant sont variées les combinaisons pratiques correspondant aux principes théoriques fondamentaux.

Tout en mettant de préférence en lumière les appareils français, nous avons été amenés à signaler un assez grand nombre de dispo-





sitions adoptées surtout à l'étranger, à cause de leur grand intérêt technique.

Le plan d'ensemble du présent volume se trouvait d'avance indiqué dans la préface que M. J. Guillaume et nous-mêmes donnions l'an dernier à *l'Alimentation des chaufferies et les tuyauteries de vapeur*. Nous ne saurions mieux faire que de rappeler ici ce que nous écrivions alors :

« A ne considérer que la *matière première*, on distingue deux parties dans la chaufferie : celle qui concerne le combustible qu'on va brûler, celle relative à l'eau à transformer en vapeur... »

« Le foyer reçoit le combustible : on fait arriver au contact de ce dernier de l'air en quantité suffisante, mais non en excès. Le foyer remplira bien son rôle si la combustion y est complète et si les gaz brûlés atteignent la température la plus élevée compatible avec les phénomènes physiques et chimiques qui accompagnent cette combustion. L'admission d'air joue ici un rôle prépondérant. Longtemps on n'a connu, pour créer l'aspiration nécessaire, que le tirage naturel des cheminées : un perfectionnement important a consisté à employer les moyens mécaniques : insufflation sous grille par soufflerie à vapeur ou par ventilateur, aspiration en aval du générateur par ventilateur ou éjecteur à air ou à vapeur.

« A un tout autre point de vue, la question du prix et de la qualité de la main-d'œuvre s'est posée avec d'autant plus d'acuité que les chaufferies devenaient plus puissantes et que les plus importantes étaient même à feu continu.

« Aussi s'est-on attaché au problème des foyers mécaniques qui, s'il ne peut être considéré comme complètement au point, présente aujourd'hui des solutions fort acceptables. Tout récemment des ingénieurs ont résolument coupé en deux le foyer, produisant du gaz pauvre dans des gazogènes centraux et le distribuant, par des tuyauteries, aux diverses chaudières dans lesquelles il est brûlé...

« Mais le foyer et le générateur ne suffisent pas à constituer la chaufferie. On doit amener le charbon et retirer les cendres et les escarbilles, d'où nécessité d'une manutention parfois très complexe. »





## PRÉFACE

C'est ce sommaire que nous avons cherché à développer aussi complètement et aussi systématiquement que possible, et nous espérons que le lecteur voudra bien faire à notre ouvrage le même accueil bienveillant et sympathique qu'à son devancier.

En terminant, nous tenons à remercier notre ami J. Guillaume qui, s'il n'a pas eu, à notre grand regret, le loisir de coopérer cette fois à notre travail, nous a cependant apporté l'appoint de son jugement et de son expérience, particulièrement pour la rédaction de plusieurs chapitres de l'ouvrage.

Juin 1913.

ANDRÉ TURIN.

---

## PRÉFACE DE LA PRÉSENTE ÉDITION

---

Depuis 1913, date de notre préface à la première édition — préface que nous reproduisons à dessein ci-dessus — l'utilisation des combustibles a trouvé dans les conceptions d'appareils et des procédés nouveaux, une amélioration sensible, et de nombreux types de foyers se sont considérablement transformés.

La nécessité de brûler des combustibles quelconques s'est fait sentir pendant la guerre. On a cherché à utiliser des charbons de toutes natures, des fines, des poussières, des huiles plus ou moins combustibles. La question économique était primordiale à cette époque et l'ensemble des considérations à envisager alors ont conduit les industriels à chercher les moyens de brûler aussi économiquement que possible les combustibles de mauvaises qualités. — Des progrès indiscutables ont été réalisés.

Depuis, on a installé en France d'importantes Centrales de production d'énergie avec unités de vaporisation à grande surface de chauffe — supercentrales qui existaient déjà en Amérique lors de la première édition de notre ouvrage.

On a cherché à élever le taux de vaporisation et le rendement





général des chaufferies importantes en poussant aussi loin que possible la récupération des calories.

L'expérience aujourd'hui acquise au sujet de foyers mécaniques, a orienté le choix à faire et groupé les foyers à employer en France, en raison de la nature du combustible et des conditions d'utilisation, autour de deux ou trois types vraiment seuls pratiques.

La combustion du charbon à l'état pulvérisé, inutilisée en France avant la guerre, a été étudiée depuis, et le procédé a reçu des applications intéressantes. Nous avons réservé à cette question un chapitre dans lequel nous avons cherché à faire ressortir les difficultés du problème à résoudre et les avantages réalisés — et nous avons groupé les procédés imaginés et les appareils actuellement appliqués en France.

Nous signalerons encore les progrès et tendances nouvelles au sujet du Tirage. Le cheminement de l'air et des gaz du foyer est un problème complexe qui a donné lieu à de nombreuses controverses en vue de proclamer le système le plus sûr, le plus économique, le plus souple. Le tirage mécanique a dû s'adapter aux conditions de marches actuelles des foyers mécaniques, et répondre aux obligations de souplesse demandées. Le soufflage sous grille est devenu indispensable dans les grandes chaufferies. Enfin on voit à nouveau s'édifier des cheminées de grande hauteur devant assurer l'écoulement des gaz depuis le foyer.

Dans la 1<sup>re</sup> édition nous n'avions pas craint de mentionner et de décrire, à titre documentaire, des appareils étrangers d'un intérêt indiscutable. — Dans cette 2<sup>e</sup> édition, nous avons voulu au contraire faire ressortir l'effort des constructeurs français et mettre en relief la valeur des conceptions nationales.

Nous aimons croire que le lecteur trouvera dans cette édition de notre ouvrage la mise au point de la question étudiée et lui fera l'accueil bienveillant que nous avons pu constater précédemment.

*Janvier 1925.*

ANDRÉ TURIN.

---



# LES FOYERS DE CHAUDIÈRES

---

**Généralités.** — Toute matière combustible peut être employée pour la production de la vapeur. C'est là un principe évident, mais dont l'application pratique est limitée d'abord par le prix de revient de la tonne de vapeur, et ensuite par les dispositifs particuliers nécessités par l'emploi de certains combustibles.

Le prix de la tonne de vapeur dépend de plusieurs facteurs : le seul que nous ayons à envisager dans ce chapitre est le prix des calories utilisables contenues dans un kilogramme de combustible tout venant ou brut.

Cette unité de poids de combustible brut contient une certaine proportion de cendres et d'humidité ; d'autre part, selon son état physique, selon les dispositions du foyer dont on dispose, une fraction plus ou moins grande sera incomplètement brûlée. En somme, le kilogramme de combustible tout venant correspondra à un poids  $P$  de combustibles net, et le nombre de calories utilisables sera, non pas  $C$  calories, pouvoir calorifique du combustible, mais  $PC$ , souvent très inférieur à  $C$ .

C'est ce produit  $PC$  qui intéresse l'industriel.

**Pouvoir calorifique.** — Il y a lieu d'attirer l'attention des Industriels, comme l'ont fait d'ailleurs les Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur, sur la signification exacte des chiffres indiqués pour les pouvoirs calorifiques : Suivant que le chiffre obtenu dans l'essai du combustible tient ou ne tient pas compte de la chaleur de condensation de la vapeur produite dans la combustion, on a en vue le pouvoir calorifique *inférieur* ou le pouvoir calorifique *supérieur*.

Cette distinction entre ces deux pouvoirs calorifiques est connue depuis longtemps des physiciens, mais peu d'industriels savent encore actuellement en quoi la question les intéresse.

Arrêtons-nous-y un moment. Les combustibles employés sont des combinaisons de carbone, d'hydrogène, corps combustibles, d'oxygène et de corps inertes incombustibles.

D'après la règle de Dulong, la chaleur dégagée par la combustion





complète d'un tel composé est la somme des quantités des chaleurs dégagées par chacun des éléments combustibles, envisagés séparément, en ne tenant pas compte de la quantité d'hydrogène qui forme de l'eau avec l'oxygène du combustible.

Par exemple, si nous prenons l'unité de poids d'un corps dont la composition élémentaire soit : C de carbone, H d'hydrogène et O d'oxygène, la chaleur dégagée lors de la combustion sera :

$$C \times 8140 + \left( H - \frac{O}{8} \right) \times P$$

↑ ↑  
 Pouvoir calorifique du carbone.      Pouvoir calorifique de l'H.

Cette loi est inexacte pratiquement, car elle ne fait pas intervenir l'état physique du combustible, sa compacité par exemple, mais elle suffit à notre démonstration.

En prenant 29.000 calories comme pouvoir calorifique de l'hydrogène, on suppose que les calories contenues dans l'eau formée à l'état de vapeur n'ont pas été récupérées. Si nous condensons cette vapeur d'eau, nous recueillerons une quantité de chaleur égale à la chaleur de vaporisation, dont la valeur est ainsi calculée :

Pour 1 kilogramme d'hydrogène, on forme 9 kilogrammes d'eau qui, pour passer à l'état de vapeur à 100°, empruntent :

$$9^{kg} \times 606,5 = 5458^{cal},5.$$

En condensant cette vapeur d'eau, on retrouvera ces 5458<sup>cal</sup>,5, en sorte que la chaleur totale dégagée par la combustion de l'unité de poids d'hydrogène, avec condensation de la vapeur d'eau formée, est de :

$$29000 + 5458^{cal},5 = 34460 \text{ calories en chiffres ronds,}$$

chiffre sensiblement différent de 29.000.

Considérons maintenant le composé combustible auquel nous avons appliqué la loi de Dulong.

Nous pouvons considérer deux cas : ou bien la vapeur d'eau formée par l'H du corps est condensée, ou bien elle ne l'est pas.

Dans le premier cas, il faudra prendre pour P la valeur 34.460, et la formule donnera le pouvoir calorifique dit *supérieur*.

Dans le deuxième cas, c'est la valeur du pouvoir calorifique *inférieur* qui est donnée par la formule où P aura la valeur 29.000. C'est pratiquement celui-ci qu'il faut envisager dans le cas qui nous occupe.

Le Comité Central des Cokes de France a convenu de distinguer « le





### GÉNÉRALITÉS

pouvoir calorifique *absolu* », le « pouvoir calorifique *absolu d'un combustible brut humide* », le « pouvoir calorifique *absolu d'un combustible pur* » enfin « le pouvoir calorifique *utile* ».

Le pouvoir calorifique *absolu* d'un combustible est la quantité de calories dégagée par 1 kilogramme du corps desséché à 110° en supposant condensée à 0° l'eau formée par la combustion. Ce pouvoir calorifique est donc indépendant de la teneur en eau.

Le pouvoir calorifique *absolu du combustible brut humide* est un chiffre souvent fort différent du précédent, quoique se rapportant à la même matière. C'est ainsi qu'un grésillon à 12 0/0 d'eau, 13 0/0 de cendres et 75 0/0 de matières combustibles a un pouvoir calorifique *absolu de (combustible brut humide)* de 6.056 calories, alors que le pouvoir calorifique *absolu du combustible brut et sec* est de 6.882 calories.

Le pouvoir calorifique *absolu du combustible pur* se déduit des chiffres précédents en les ramenant à l'unité de poids de combustible *pur* contenu dans la matière, c'est-à-dire au combustible brut, abstraction faite des cendres et de l'eau. Dans l'exemple précédent, pour obtenir ce pouvoir calorifique, il suffira d'écrire :

$$\frac{6.882 \times 88}{75} = 8.075,$$

6.882 étant le pouvoir calorifique absolu du combustible sec, 88 0/0 étant la somme de 75 0/0 de matières combustibles et de 13 0/0 de cendres.

Enfin le pouvoir calorifique *utile* du combustible tient compte de la chaleur absorbée par la vaporisation de l'humidité du combustible et de l'eau de combustion. C'est ce que nous avons appelé précédemment pouvoir calorifique *inférieur*.

Reprenons l'exemple précédent : nous avons :

Eau de combustion . . . . .	6,75 0/0	}	Total : 18,75 0/0
Humidité du combustible . . . . .	12,00 0/0		
Calories absorbées : 0,1875 × 637 <sup>cal</sup> = 119 calories			

Le pouvoir calorifique utile du combustible brut humide est donc :

$$6.056 - 119 = 5.937 \text{ calories.}$$

C'est le chiffre pratique industriel.

On voit qu'il est sensiblement différent du pouvoir calorifique *absolu d'un combustible sec* donné par la bombe calorimétrique.

Il faut toutefois ajouter que nous avons pris comme exemple un combustible à forte proportion d'eau, ce qui accentue la différence.



### DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DU POUVOIR CALORIFIQUE SUPÉRIEUR

Le pouvoir calorifique d'un combustible se détermine à l'aide de l'appareil de Berthelot transformé par Mahler.

La méthode employée consiste à brûler complètement le combustible dans de l'oxygène pur à la pression de 25 kilogrammes par centimètre carré et à noter l'élévation de température produite sur l'eau d'un calorimètre où plonge le vase clos dans lequel s'est

faite la combustion. De cette élévation de température se déduit, après diverses corrections, le nombre de calories dégagées par la combustion complète.

L'appareil comprend donc essentiellement un vase clos ou *obus* et un calorimètre.

L'obus est constitué comme l'indique la figure 1. Le combustible à essayer est placé dans une coupelle dont le support permet de régler la position verticale. Un fil de clavecin enroulé en spirale vient dans la masse du combustible. Il est relié à une tige métallique qui traverse le couvercle dont elle est isolée par un petit anneau d'ivoire.

Le couvercle vient se visser sur la tête de l'obus. Cette tête porte une gorge et le joint se fait à emboîtement par l'intermédiaire d'une rondelle de plomb.

Au centre du couvercle se trouve un tube permettant d'introduire de l'oxygène.

Le support du combustible et la tige qui prolonge le fil de clavecin constituent deux élec-

trodes. En faisant passer un courant électrique, on produira l'échauffement du fil de clavecin et l'inflammation et la combustion complète du combustible.

La chaleur dégagée dans l'obus se transmettra à l'eau du calorimètre, et on aura ainsi le nombre des calories produites.

Les mesures une fois faites, il y a lieu à des calculs assez longs et à des corrections importantes. Nous n'insisterons pas ici sur les détails de l'opération.

La bombe calorimétrique à lecture directe de M. Féry donne rapidement et par simple lecture la valeur du pouvoir calorifique d'un

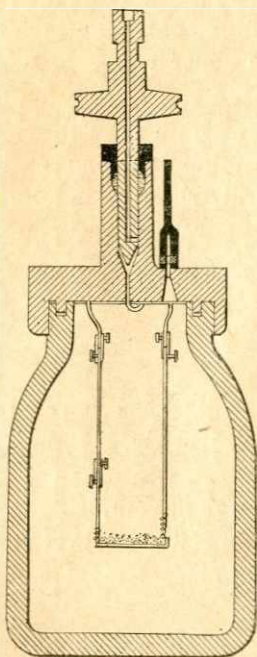


FIG. 1.  
Bombe calorimétrique.



GÉNÉRALITÉS

combustible, sans qu'on ait à faire les calculs indispensables avec la bombe de Malher.

La combustion dans l'appareil Fery se fait exactement comme dans la bombe de Mahler.

Voici maintenant les particularités de la méthode et de l'appareil.

L'obus A ne pèse ici que 1 kilogramme au lieu de 4 kilogrammes et ne comporte pas de masse d'eau. Par suite l'élévation de température qui n'est que de 2 à 3° avec les bombes ordinaires atteint facilement 50 à 60°.

L'obus est maintenu dans sa position verticale par deux disques BB' en constantan (alliage cuivre, nickel) qui le relie à une enveloppe extérieure métallique C.

Dans ces conditions, la bombe constitue la soudure chaude d'un élément thermo-électrique dont la soudure froide est l'enceinte C. En reliant ce couple au millivoltmètre V gradué en calories, on lit immédiatement le chiffre cherché. Il a été vérifié expérimentalement que la constante de l'instrument est invariable, c'est-à-dire que la valeur d'une division du millivoltmètre est indépendante du poids de combustible et de sa nature.

La bombe Fery comme la bombe Mahler donne le pouvoir calorifique supérieur du combustible.

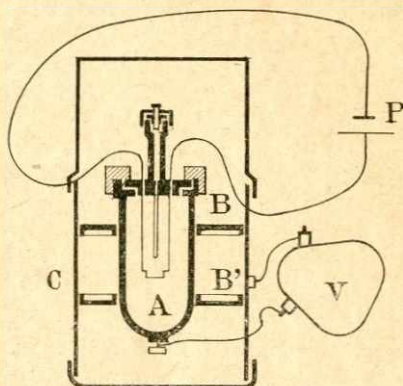
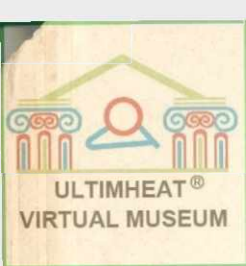


FIG.2. — Schéma de la bombe Fery.





## CHAPITRE I

### ÉTUDE SOMMAIRE DES COMBUSTIBLES

**I. Le bois.** — C'est un combustible qui n'est pas d'utilisation courante, en raison de son coût, des difficultés de transport, de sa production limitée, etc.

Néanmoins nous l'étudierons en détail, parce que l'examen de ses propriétés est capital pour tout ce qui va suivre.

La structure du bois comprend :

1° Le cœur, partie ancienne, souvent très dure, dans laquelle il n'y a plus de vie, mais qui ne s'altère pas, par suite de la présence de substances antiseptiques, comme le tannin dans le chêne, la résine dans le peuplier ;

2° L'aubier, partie active de l'arbre, composée de fibres longitudinales entre lesquelles circule la sève, liquide vital de l'arbre et dont la composition est variable suivant les espèces de bois, mais qui renferme toujours une certaine proportion d'eau ;

3° L'écorce, constituant l'enveloppe extérieure.

Au point de vue chimique, le bois contient de la cellulose, des matières azotées, des matières organiques en dissolution dans la sève, telles que des gommés, des résines. Il renferme encore des matières minérales, pour la plupart en dissolution dans la sève, et qui, après la combustion, constituent les cendres.

L'ensemble formé par le cœur et l'aubier, constitue ce qu'on appelle le ligneux dont la composition moyenne peut être la suivante :

	HÊTRE		CHÊNE		BOULEAU	
	TRONC	BRANCHES	TRONC	BRANCHES	TRONC	BRANCHES
Carbone.....	49,50	50,4	49,6	50,1	50,3	51,3
H.....	6	6,2	5,8	6,1	6,1	6,2
O.....	42,4	41,1	41,4	41,4	41,0	41,4
Az.....	1,2	0,8	1,2	0,9	1,4	0,9
Cendres.....	0,9	1,5	1,0	1,5	1,1	1,2



## ÉTUDE SOMMAIRE DES COMBUSTIBLES

L'arbre qui vient d'être abattu renferme une quantité importante d'eau. Après dessiccation à l'air pendant une année, la moitié de cette eau environ arrive à s'éliminer par évaporation. — Lorsque le bois est emmagasiné à l'abri, il peut ne conserver que 15 0/0 d'eau.

Si on désire pousser plus loin la dessiccation, il faut opérer par étuvage; mais le bois reprendra ensuite lentement de l'eau pour revenir progressivement à la teneur de 15 0/0, qui semble être une limite d'équilibre.

Le bois renferme une faible quantité de produits incombustibles ou cendres : 2 0/0 environ dans le ligneux sec, 6 0/0 dans l'écorce et 8 0/0 dans les feuilles sèches, ces chiffres étant d'ailleurs très variables suivant les essences de bois.

Les cendres sont infusibles et constituées par des corps très divers parmi lesquels on trouve  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  (solubles) et  $\text{Ph}^2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}^2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  (insolubles).

La densité absolue des bois, c'est-à-dire le chiffre déterminé, abstraction faite des vides remplis d'air qu'il contient, est, en moyenne, de 1,45 à 1,55. La densité réelle du bois, celle qui tient compte de sa porosité, est de 0,8 à 0,9 pour le chêne, l'orme, le hêtre.

Comme nous l'avons déjà dit, le bois n'est pas un combustible intéressant au point de vue qui nous occupe : en raison de son prix, il ne peut généralement pas convenir au chauffage industriel des chaudières à vapeur. Dans certains cas particuliers, dans les scieries par exemple, dans les usines situées près des forêts, on peut être amené à chauffer des foyers au bois pour utiliser des déchets. Il faut alors adopter pour ces foyers des dispositions spéciales en raison des conditions particulières dans lesquelles se fait la combustion du bois.

Le pouvoir calorifique du bois renfermant 20 0/0 d'eau est de l'ordre de 3.000 calories. Il atteint 4.000 calories, si le bois a été séché spécialement.

**II. La tourbe.** — Elle provient de l'altération des plantes herbacées et aquatiques qui, une fois mortes, s'accumulent et s'enchevêtrent dans le fond des marécages. La végétation reprenant chaque année sur l'accumulation ancienne, la couche de tourbe augmente constamment.

On extrait la tourbe des marais sous forme de briquettes qu'on expose à l'air, en vue de leur faire perdre 50 0/0 environ de l'eau qu'elles contiennent. Il reste alors environ 20 à 40 0/0 d'eau dans la tourbe.

La proportion de cendres contenues dans la tourbe est extrêmement variable : elle oscille entre 6 et 20 0/0.

Le pouvoir calorifique moyen de la tourbe est de 4.500 calories. Si la tourbe est parfaitement desséchée, il atteint 5.800 calories; la tourbe à





25 0/0 d'eau et 6 0/0 de cendres a un pouvoir calorifique de 3.000 à 3.800 calories.

C'est un combustible médiocre dont les applications industrielles sont peu nombreuses, en raison de la dessiccation préalable nécessaire, qui, si elle est faite à l'air libre est de longue durée, et si elle est faite par compresseurs, offre des difficultés sérieuses.

En effet, il faut comprimer la tourbe très fortement à l'aide de presses hydrauliques spéciales. La forte proportion d'eau donne à ce travail une longueur excessive, et on n'arrive jamais à assécher complètement la tourbe.

On a aussi conseillé d'additionner la tourbe brute de substances la rendant perméable avant de la soumettre à la compression à froid ; ces substances d'addition peuvent être des cendres, des mâchefers, du coke, de la sciure de bois et surtout de la tourbe déjà séchée.

On peut encore faire passer la tourbe entre des cylindres tournant à des vitesses différentes de façon à briser ses fibres ; on la mâche ainsi, puis on la fait passer par compression au travers de plaques perforées ; on obtient des espèces de bâtonnets qui, séchés ensuite, ont l'aspect de morceaux de coke.

On peut aussi distiller la tourbe, recueillir les gaz et produits de distillation et utiliser le coke qui forme le résidu.

Enfin, et c'est là le procédé le plus moderne, on peut utiliser la tourbe dans des gazogènes spéciaux et obtenir un gaz qui, après épuration, sert au chauffage. L'intérêt de ce procédé est double : on peut employer de la tourbe contenant jusqu'à 60 0/0 d'eau et obtenir un gaz de 1.300 à 1.400 calories par mètre cube ; on peut enfin récupérer sous forme d'ammoniaque 70 à 85 0/0 de l'azote contenu dans la tourbe.

**III. Le lignite.** — C'est un combustible plus ancien, qui tient le milieu entre le bois et la houille ou plus exactement entre la tourbe et la houille.

Le lignite ligneux est celui qui a conservé l'apparence du bois. Il est d'origine plus récente, et on retrouve les traces très nettes des branches et des fibres qui l'ont constitué et dont il garde l'empreinte.

Le lignite parfait, ou houille ligniteuse, est d'origine plus ancienne et se rapproche de la houille dont il a presque les propriétés.

Le lignite se présente sous une couleur brune ou noire. Il renferme 65 à 75 de C, 4 à 5 de H, 29 à 21 d'O et d'Az.

Les matières volatiles contenues dans le lignite varient de 50 à 60 0/0 du poids de lignite.

Lors de son extraction, le lignite ligneux renferme une quantité notable d'eau : 400/0. Après dessiccation à l'air, la teneur en eau descend à 150/0.



ÉTUDE SOMMAIRE DES COMBUSTIBLES

Le pouvoir calorifique de ce combustible varie évidemment suivant son état d'ancienneté. Si le lignite est ancien, c'est-à-dire s'il se rapproche de la houille, le pouvoir calorifique peut atteindre 7.000 calories. Pour le lignite récent, ligneux, on trouve 4.500 calories seulement.

Les lignites gras, c'est-à-dire ceux qui ont la propriété de se ramollir sous l'action de la chaleur, ont un pouvoir calorifique sensiblement égal à celui de la houille : 7.800 calories. Souvent on les agglomère à l'aide de fortes presses chauffées à la vapeur et on en fait des briquettes, très employées dans certaines régions pour les usages domestiques.

A titre d'indication, nous pouvons signaler que, en 1909, la production des lignites en France, a été la suivante :

Provence.....	652.896 tonnes
Vosges Méridionales.....	31.435 —
Comtat.....	26.419 —
Sud-Ouest.....	13.043 —
Haut-Rhône.....	447 —
Yonne.....	75 —

**IV. Les houilles.** — La houille constitue actuellement le combustible le plus employé pour le chauffage des foyers de chaudières.

Elle restera le combustible le plus important tant que les mines pourront fournir la consommation toujours croissante demandée par l'industrie.

Un temps viendra où, les houillères épuisées, l'homme devra trouver une source nouvelle de chaleur sous peine de voir la production industrielle diminuer et s'éteindre entraînant avec elle la civilisation actuelle.

Ce temps est encore lointain, car les contenances actuelles des mines permettent d'assurer la production nécessaire pour de nombreuses années.

La houille se présente en couches stratifiées, alternées avec des schistes, à la base de terrains secondaires.

Elle est de couleur noire, mais d'aspect très varié suivant sa provenance et sa nature. Sa cassure présente des caractères variables : elle est fibreuse, lamelleuse, lisse pour la houille récente, conchoïdale pour les houilles anciennes ou anthraciteuses.

Sous l'action de la chaleur, elle se décompose, elle distille, et nous étudierons plus loin ces phénomènes qui accompagnent la combustion de la houille.

La houille étant un produit marchand d'une grande importance, toutes ses qualités peuvent servir de bases pour établir une classification.

Dans une houille, on peut distinguer :

1° La teneur en cendres dont l'importance est capitale pour la marche du foyer ;





- 2° La teneur en matières volatiles, qualité non moins importante;
- 3° La longueur de la flamme qu'elle peut donner;
- 4° Le pouvoir calorifique;
- 5° La grosseur du morceau;
- 6° Le pouvoir agglomérant, etc.

Les houilles renferment toujours une certaine proportion de cendres variant entre 1 à 20 0/0. Normalement une houille de bonne qualité renferme 5 à 10 0/0 de cendres.

Les cendres sont des matières minérales, provenant en partie des sels contenus dans les végétaux qui ont formé la houille et en partie des dépôts terreux qui s'y sont mêlés. Elles sont réparties irrégulièrement dans la masse de la houille, et c'est pourquoi, lorsqu'on procède à une analyse, il faut avant tout déterminer un échantillon moyen, c'est-à-dire constitué par un prélèvement pris lui-même sur de nombreuses prises partielles faites en des endroits différents du lot qu'on veut apprécier.

Sous le nom de *matières volatiles*, on comprend l'ensemble des composés gazeux qui se dégagent au cours de la distillation d'un charbon en vase clos. Les dosages des matières volatiles sont extrêmement importants, car les marchés stipulent généralement un pourcentage de matières volatiles en rapport avec les usages auxquels les houilles sont destinées.

Voici, à titre d'indication, quelques analyses de charbon de mines françaises du bassin du Pas-de-Calais.

	CENDRES	COKE	EAU	CARBONE FIXE	MATIÈRES VOLATILES sans eau
Lens, fosse 1 .....	6,00	75,40	1,22	69,40	23,38
Liévin, longue flamme...	5,50	67,53	1,23	62,03	31,21
Ostricourt, maigre.....	5,30	89,34	0,98	84,04	9,68

Le tableau ci-dessous montre la nature des houilles extraites de différentes mines françaises.

Les croix indiquent les qualités plus spécialement recommandées pour le foyer des chaudières :



## ÉTUDE SOMMAIRE DES COMBUSTIBLES

MINES	DÉSIGNATION	PROPORTION EN MATIÈRES VOLATILES 0/10	PUISSANCE CALORIFIQUE Calories
Aubin (Aveyron).....	1/2 gras +	33 à 38	8.627
	1/2 gras +	18 à 20	
Ahun (Creuse).....	maigres +	41 à 42	8.535
	anthracite	8 à 9	
	agglomérés	45 à 47	
	1/2 gras +	12 à 18	
Aniche (Nord).....	maigres anthraciteuses	9 à 10	8.799
	gras et 3/4 gras	18 à 25	
	1/4 gras	11 à 12	
Anzin (Nord).....	maigres +	9 à 10	8.799
	1/2 gras	14 à 18	
Autun (Saône-et-Loire)....	gras	21 à 28	8.300
	huiles de schiste		
	gras flénus	32 à 34	5.500 à 6.000
	gras	30 à 32	
Béthune (Pas-de-Calais) ..	gras +	25 à 30	8.300
	à coke	18 à 25	
	1/2 gras +	14 à 16	
	1/4 gras +	11 à 12	
Blanzay (Saône-et-Loire)....	flambant	35 à 40	8.300
	à gaz	30 à 33	
La Boule (Puy-de-Dôme)...	anthracite	9 à 12	8.300
Bouches-du-Rhône.....	à gaz	34 à 36	
Carmaux (Tarn).....	lignite +	42	5.500 à 6.000
Champagnac (Cantal) .....	gras		
Charbonnier (Puy-de-Dôme)	à gaz	32	8.300
Clarence (Pas-de-Calais)...	anthracite	8 à 10	
Commentry (Allier).....	gras	34 à 39	8.300
Decazeville (Aveyron).....	maigres +		
	gras +	30 à 35	8.300
	gras +	30 à 35	
Courrières (Pas-de-Calais) ..	grasse maréchale	26 à 30	8.300
	1/4 gras +	12 à 16	
Dourges (Pas-de-Calais)....	toutes qualités de +	16 à 30	8.300
Escarpelle (Nord).....	1/4 gras	41 à 43	
Faymoreau (Vendée).....	1/2 gras	13 à 16	8.300
		22	
	grasses +	29 à 32	8.300
	grasses à gaz	30 à 33	
Lens (Pas-de-Calais).....	3/4 grasses marécales	26	8.300
	1/2 à 1/4 grasses +	12 à 14	
Liévin (Pas-de-Calais) .....	flénus gras	28 à 40	8.300
Loire .....	houilles à gaz		
La Mure (Isère).....	anthracite, densité 1,35	20 à 35	8.300
Ostricourt (Pas-de-Calais) ..	maigre flambant	41	
Ronchamps (Haute-Saône) ..	maigre anthraciteux	8,5 à 9	5.500 à 6.000
Valdonne (Puy-de-Dôme) ..	chaudière		
	lignites	42	8.300
	maigre et 1/4 gras	40 à 41	
Vicoigne et Nœux	1/2 gras +	12 à 14	8.300
(Pas-de-Calais) ..	grasse maréchale	26 à 32	
	grasse courte flamme +	16 à 25	
	sèche à longue flamme	32 à 42	



Quelques auteurs préconisent le classement des houilles d'après la longueur de la flamme et la teneur en matières volatiles, de la manière suivante :

- Houille maigre à longue flamme ;
- Houille grasse à longue flamme ;
- Houille grasse à courte flamme ;
- Houille maigre à courte flamme ;
- Anthracite.

Le tableau suivant résume les compositions moyennes et les qualités principales des différentes classes de houilles.

	C	H	O + Az	POUVOIR CALORIFIQUE	MATIÈRES VOLATILES
Houille maigre à longue flamme.	80 à 84	5 à 5	13 à 10	8.200	35 à 40
— grasse à longue flamme.	84 à 88	5	8 à 10	8.600	30 à 35
— grasse à courte flamme.	86 à 90	5 à 4,5	9 à 5	8.700	16 à 23
— maigre à courte flamme.	90 à 93	4,5 à 3,5	5 à 3	8.600	6 à 14
Anthracite.....	95	2	4 à 2	8.200	3

On remarque que la teneur en H est sensiblement constante dans toutes les qualités de houille autres que l'anthracite.

La grosseur des morceaux de houille détermine leur classification commerciale, dans la même qualité.

On nomme tout-venant un mélange irrégulier d'éléments de grosseurs diverses. Pratiquement il provient de mélanges faits par les mines et est caractérisé par la proportion de gros qu'il contient.

Un tout-venant dit à 25 0/0 doit renfermer au moins 25 0/0 en poids de morceaux ne passant pas sur une grille dont les barreaux sont écartés de 40 millimètres environ (écartement déterminé sur les cahiers des charges) et 75 0/0 de charbon complémentaire ayant traversé la grille.

Un tout-venant à 45 0/0 doit contenir 45 0/0 de morceaux refusés au passage de la grille.

Les désignations sont différentes selon les centres houillers, et nous reproduisons ci-après les termes propres à quelques régions et servant à désigner une grosseur déterminée de houille.



ÉTUDE SOMMAIRE DES COMBUSTIBLES

	RÉGIONS	DÉSIGNATION	GROSSEUR	NATURE DE LA GRILLE DE CALIBRAGE
Charbon.	Pas-de-Calais	Gros à la main....	au-dessus de 150 <sup>mm</sup> .	passant entre des barreaux longs. Idem.
		Gaillerie .....	de 80 à 150 <sup>mm</sup>	
		Gailletins .....	50 à 80 <sup>mm</sup>	passant dans une grille à trous ronds.
		Têtes de moineaux ou (petits gailletins) .....	30 à 50 <sup>mm</sup>	Idem.
		Braisettes.....	20 à 30 <sup>mm</sup>	Idem.
		Grains.....	8 à 20 <sup>mm</sup>	Idem.
	Bourbonnais.	Gros carrés.....	50 à 70 <sup>mm</sup>	passant dans une grille à trous ronds. Idem.
		Gaillettes.....	30 à 60 <sup>mm</sup>	
		Braisettes ou gailletins.....	18 à 30 <sup>mm</sup>	
		Menus.....	18 à 0 <sup>mm</sup>	
Lignite.		Roches .....	au-dessus de 5 <sup>cm</sup>	refus d'une grille à barreaux longs. passant entre barreaux longs ou dans une grille à trous ronds.
		Grelasson.....	50 <sup>mm</sup>	
	Bouches-du Rhône.	Chatilles .....	50 à 30 <sup>mm</sup>	passant dans une grille à trous ronds. Idem.
		Grenettes.....	30 à 10 <sup>mm</sup>	
		Terre grosse .....	grelasson + grenettes + terre fine.	
		Terre fine.....	de 30 à 3 <sup>mm</sup>	
		Poussier.....	0 à 3 <sup>mm</sup>	

Certaines houilles, lorsqu'elles sont soumises à la chaleur, subissent avant leur décomposition ce qu'on appelle une fusion pâteuse, elles s'agglomèrent, c'est-à-dire que les morceaux de différentes grosseurs se collent les uns aux autres et forment des masses compactes pouvant avoir de grandes dimensions. Cette particularité présente un intérêt dans certaines industries métallurgiques et a également une importance réelle au point de vue des foyers des chaudières.

En effet, nous verrons plus loin que le combustible brûlé sur une grille doit posséder ce pouvoir agglomérant dans une certaine proportion seulement, car il faut éviter la perte d'incuits, qui tombent non brûlés dans le cendrier à travers la grille, et aussi, assurer une porosité réduite à la couche de combustible pour limiter le passage de l'air à la valeur voulue.

Nous verrons également comment cette agglomération de la houille et la cokéfaction sont produites dans les foyers anciens et modernes.

La houille subit à l'air et dans les conditions ordinaires une altération sensible. On constate d'abord le départ de gaz hydrocarbonés occlus, et, en particulier du méthane, ceci dans les premiers jours qui suivent l'ex-



traction. Ensuite, il se produit une oxydation et la fixation de l'oxygène de l'air sur certains hydrocarbures non saturés.

Des expériences ont montré que plusieurs facteurs interviennent dans cette altération de la houille: la présence des pyrites de fer, la grosseur des morceaux, la température et l'humidité.

On peut dire que la présence de poussier favorise l'altération.

Cette altération peut aller jusqu'à produire l'inflammation du tas si les circonstances extérieures sont favorables.

Aussi, lorsque la houille est emmagasinée, est-il prudent de la ventiler par des cheminées *ad hoc* aménagées dans le tas; il se produira alors un rafraîchissement constant de la masse. Ou bien on retournera le tas à la pelle de façon à l'aérer et à le rafraîchir.

Certains ingénieurs critiquent cependant ces dispositifs de canaux de ventilation, et font remarquer, avec quelque raison d'ailleurs, que, si malgré cette précaution, le tas s'échauffe, les canaux amèneront l'air dans des conditions telles que l'échauffement pourra rapidement s'étendre à une grande surface.

On s'aperçoit de l'échauffement anormal d'un tas de charbon par un dégagement de vapeur apparente et l'apparition d'une odeur suspecte; l'échauffement se poursuit, le charbon distille et il se forme des dépôts huileux bruns partout où il se dégage des vapeurs. Quand les choses en sont à ce point, il faut prendre des mesures immédiates.

D'après les idées les plus récentes, voici ce qui est conseillé pour éviter l'échauffement et combattre les incendies:

- 1° Séparer les différentes espèces de charbons;
- 2° Ne ventiler qu'à la surface;
- 3° Mélanger le gros et le menu;
- 4° Ne pas dépasser la hauteur de 5 mètres pour les tas;
- 5° Éviter les sources extérieures de chaleur, telles qu'un tuyau chaud passant dans le tas;
- 6° Remédier aux fuites dans les toits et aux gouttières au-dessus des tas;
- 7° Si la température dépasse 40°, découvrir le tas et commencer à prendre des précautions;
- 8° Utiliser le plus tôt possible le charbon attaqué.

La liquidation des tas de charbon doit se faire tous les ans, c'est-à-dire qu'un même charbon ne doit pas rester plus d'un an en tas.

Cette question de l'approvisionnement et de l'altération des houilles conservées en tas n'est pas intéressante pour la plupart des industriels, parce que leur stock n'est pas assez important pour faire craindre les effets d'un séjour prolongé à l'air. Mais elle se pose pour les grandes centrales et pour les usines à gaz.



ÉTUDE SOMMAIRE DES COMBUSTIBLES

Le plus sûr moyen d'éviter l'altération des houilles est, comme nous le verrons plus loin, de les conserver sous l'eau.

Les houilles les plus riches en matières volatiles s'oxydent plus rapidement ; les anthracites ne s'oxydent pas à la température ordinaire.

La densité de la houille est de 1,25 à 1,60. Mais pour la houille en tas, il ne faut pas compter plus de 800 à 850 kilogrammes par mètre cube. Ceci est particulièrement à retenir pour l'étude des installations de manutention.

A titre d'indication, nous donnons ci-dessous la production annuelle de houille de quelques départements français d'après la statistique établie quelques années avant 1914.

	Tonnes	
Pas-de-Calais.	49.298.795	Mines de Bruay, Carvin, Courrières, Dourges, Drocourt, Béthune, Lens, Liévin, Marles, Meurchin, Nœux, Ostricourt.
Nord.....	7.247.337	Aniche, Anzin, Douchy, Escarpelle.
Loire.....	3.681.408	La Béraudière, La Chana, Méons, Montrambert, Roche-la-Molière, Chazotte.
Gard.....	2.011.694	La Grand'Combe, La Levade, Rochebelle, Tréllys.
Saône-et-Loire	1.927.631	Blanzay, Épinac, Creusot, Montchanin.
Aveyron.....	949.510	Cransac, Decazeville.
Tarn.....	847.790	Carmaux, Albi.
Puy-de-Dôme.	583.796	La Bouble, La Combelle, La Vernade.
Allier.....	533.065	Montvicq, Commentry.
Isère.....	357.677	La Mure, Communay.
Hérault.....	232.167	Graissesac.
Haute-Loire...	212.101	—
Haute-Saône..	205	Ronchamps, Gouhenans.

**V. Les agglomérés.** — Les agglomérés utilisables pour le chauffage des chaudières sont connus généralement sous le nom de briquettes, à cause de leur forme parallélépipédique.

Les briquettes sont fabriquées avec des poussières de charbon agglomérés avec du brai (produit qui provient de la distillation des goudrons et qui devient pâteux vers 80°). Le mélange est comprimé dans des moules métalliques chauffés, comme nous l'avons indiqué pour l'agglomération des lignites.

Les briquettes sont surtout employées pour le chauffage des locomotives et des chaudières marines, cela parce qu'elles permettent d'emmagasiner le maximum de combustible sous le volume minimum : il faut d'ailleurs les casser avant de les employer.

Le procédé de l'agglomération donne le moyen le meilleur d'utiliser les fines de houilles maigre ou de coke qui, telles que, sont extrêmement difficiles à brûler.





D'autre part les briquettes ont une fixité de composition qui les rend intéressantes pour certaines applications, par exemple pour les essais de chaudières.

**VI. Le coke.** — Le coke est le résidu de la distillation de la houille soit en vue de fabriquer le gaz d'éclairage, — dans ce cas c'est un sous-produit de fabrication — soit en vue d'obtenir le coke métallurgique, qui est alors ici le but du traitement.

Le combustible ainsi obtenu par distillation de la houille a un pouvoir calorifique élevé, il ne contient plus guère de produits volatils et ses propriétés sont nettement différentes de la houille d'où il provient.

Lorsqu'on soumet la houille à la chaleur en vase clos, elle distille, c'est-à-dire laisse échapper de l'eau, des carbures volatils, des gaz dont la proportion en hydrogène augmente au fur et à mesure de l'élévation de température et de la durée de la distillation. On recueille des goudrons, des hydrocarbures liquides, de l'ammoniaque et le coke reste dans le vase clos.

Si la houille est grasse, il se produit, avant la distillation, une fusion pâteuse à 340°.

Pour avoir un coke compact, il faut employer une houille renfermant plus de 17 0/0 environ de matières volatiles : l'agglomération ne se produit pas sans cela. On peut toutefois employer un mélange de houille maigre et de houille grasse.

Pratiquement le coke utilisé dans le foyer des chaudières est le résidu solide de la distillation des charbons en vue d'obtenir du gaz d'éclairage.

Le coke dit *métallurgique*, obtenu spécialement pour la réduction des minerais, n'est jamais employé comme combustible dans les chaudières.

Suivant leur outillage, les usines à gaz produisent diverses qualités de coke, et il est utile d'insister un peu sur ce fait.

Le coke de cornue horizontale ou inclinée est le plus répandu, il est éteint à l'eau et en contient souvent un excès. Son poids est d'environ 40 kilogrammes par hectolitre.

Le coke de cornue verticale discontinue et de four à chambres, se rapproche du coke métallurgique ; il est plus dur que le précédent, il est éteint à l'eau et n'en contient généralement pas trop, les installations qui produisent ce coke étant récentes et bien étudiées. Son poids est d'environ 45 kilogrammes par hectolitre.

Le coke de cornues verticales continues, éteint sans eau, n'en renferme



guère que 0,3 à 0,5 0/0. Son poids est un peu moindre, à humidité égale, que le coke de cornues horizontales.

On fait souvent des mélanges de ces divers cokes; d'autre part, le coke étant hygrométrique, sa teneur en eau varie suivant le temps où il est resté en parc.

Le charbon distillé donnant environ 70 0/0 de coke dans lequel restent toutes les cendres du charbon, 1 kilogramme de coke contient environ 40 à 50 0/0 de cendres de plus que 1 kilogramme de charbon qui lui a donné naissance.

D'après Mahler, la composition du coke métallurgique est la suivante:

C	H	O + Az	eau	cendres	pouvoir calorifique
91,5 0/0	0,5	2 à 3	0,6	5,1	7.500

La composition moyenne du coke de gaz est:

C	H	O + Az	cendres
84 à 88	3,5 0/0	2 à 3	10 à 15

Son pouvoir calorifique est d'environ 7.000 calories.

Le coke renferme en outre toujours un peu de soufre et du phosphore. Le soufre reste à l'état de sulfure de fer qui s'oxyde à la longue au contact de l'air.

Le coke est un combustible dont l'emploi est intéressant dans certaines localités en raison du prix relativement bas auquel le livrent toutes les Compagnies de fabrication du gaz. La quantité de coke de gaz produit journellement par les usines importantes comme celles de Paris est certainement un facteur qui oblige les Usines à gaz à livrer le coke à un prix susceptible de tenter les preneurs et de les débarrasser de ce sous-produit qui les encombrerait rapidement.

L'industriel peut donc avoir intérêt à utiliser le coke pour la marche des foyers et, dans ces dernières années, le problème s'est posé d'autant plus sérieusement, que, par l'emploi du coke, on évite la production des fumées, dont les habitants des villes se sont plaints, à juste titre d'ailleurs.

Il faut ajouter de suite que, pour brûler du coke, le foyer doit être aménagé spécialement. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

Le poussier de coke, dont le prix de revient est relativement bas, peut recevoir une utilisation intéressante dans les foyers de chaudières. Nous connaissons quelques usines dans lesquelles on brûle un mélange de tout-venant et de poussier de coke sur des grilles ordinaires. L'économie réalisée est très réelle.





**VII. Les hydrocarbures liquides.** — Les hydrocarbures liquides, susceptibles d'être utilisés pour chauffer des chaudières, sont le pétrole, les mazouts et le goudron.

Les mazouts sont les résidus de la distillation du pétrole.

Le goudron est le résidu de la distillation de la houille dans les usines à gaz, qui en produisent près de 3 0/0 du poids du charbon traité et l'utilisent souvent au chauffage des chaudières de leur station centrale.

Le pétrole est un mélange de carbures dérivés du méthane (pétrole d'Amérique) ou de l'éthylène (pétrole de Russie).

Le pouvoir calorifique du pétrole est très élevé, il est voisin de 11.000 calories.

Par distillation du pétrole brut on sépare une série de carbures volatils et on obtient ainsi différents pétroles. En poussant plus loin la distillation, on obtient la vaseline, la paraffine et le coke de pétrole.

La distillation des pétroles de Russie donne un résidu abondant, le mazout, que l'on brûle sur des grilles spéciales.

Les pétroles américains, plus purs, peuvent se brûler directement.

Le pétrole a la composition moyenne suivante :

C	H	O
82 à 85 0/0	13 à 15 0/0	1 à 3 0/0

On peut dire que jusqu'en 1914, le pétrole et les mazouts n'étaient pas employés en France dans l'industrie ; ces combustibles étaient réservés, en général, pour la marine à cause de la facilité d'emmagasinage.

Pendant la guerre, en raison de la pénurie et du coût de la houille, on a cherché à alimenter les foyers des chaudières industrielles avec des mazouts ou même avec des huiles combustibles quelconques.

Depuis, certaines chaufferies importantes ont été installées avec des foyers à deux fins, c'est-à-dire comportant une grille à charbon et des brûleurs à mazout.

Le prix actuel des combustibles liquides et l'approvisionnement normal de la houille ont rendu à ce dernier combustible sa grande suprématie.

L'emploi du pétrole comme combustible paraît extrêmement séduisant à première vue. Il permet d'éviter les cendres si gênantes pour la marche régulière des foyers. On peut assurer un débit régulier de combustible, réglage à volonté par un simple jeu de robinet et par suite obtenir, théoriquement, une combustion proportionnée et complète.

Il y a cependant des difficultés pratiques, car il n'est pas facile d'obtenir un mélange convenable de l'air et du pétrole qu'on veut brûler. Si le pétrole est introduit dans le foyer en gouttelettes trop volumineuses,



il se produit un dégagement gazeux abondant, il y a excès de combustible, la combustion est incomplète, il se dégage des goudrons et des hydrocarbures qui encrassent les conduits et les tubes des chaudières.

On arrive néanmoins à obvier à cet inconvénient par l'emploi de brûleurs spéciaux dans lesquels le mélange du pétrole et de l'air se fait sous pression : le pétrole y est pulvérisé finement et se mélange intimement à l'air par l'intermédiaire d'un jet à forte pression de vapeur ou d'air comprimé. Il y a brassage énergique et la combustion est assurée dans de bonnes conditions.

Le grand avantage du pétrole, en dehors de l'absence des cendres, est aussi la facilité d'emmagasinage. Ce sont ces qualités qui l'ont fait adopter dans les foyers de chaudières marines.

**VIII. Le gaz pauvre.** — Le chauffage au gaz des foyers de chaudières se fait souvent à l'aide de gaz pauvre, de diverses provenances, et dont nous parlerons plus en détail au moment de l'étude des brûleurs. Pour le moment nous nous bornerons à indiquer que ces gaz sont constitués par un mélange d'éléments combustibles, hydrocarbures, oxyde de carbone, hydrogène, dilués généralement dans de l'azote et un peu d'acide carbonique.

Le pouvoir calorifique et les propriétés des gaz pauvres en ce qui concerne leur utilisation dans les foyers sont variables avec leur composition, comme nous le verrons plus loin.

**IX. Combustibles divers.** — *a) Charbon de bois.* — La carbonisation, c'est-à-dire l'enlèvement préalable des matières volatiles contenues dans un combustible, peut s'appliquer au bois, comme à la houille.

Sous l'action de la chaleur, le bois perd d'abord son eau, puis il commence à se décomposer lentement. A 300°, il a perdu 50 0/0 de son poids ; à 400°, il devient noir et ce charbon renferme 80 0/0 de C.

Si le charbon de bois est calciné à haute température, 1.000° par exemple, il possède un pouvoir calorifique de 8.000 calories.

Le charbon de bois industriel renferme 6 à 10 0/0 d'eau, 4 à 8 0/0 de cendres, 80 0/0 de matières volatiles et 80° de C. ; son pouvoir calorifique est inférieur à 7.000 calories.

*b) La tannée.* — La tannée est constituée par l'écorce du chêne ayant servi au tannage des peaux. Elle contient 70 0/0 d'eau à la sortie des fosses de tannerie. Après égouttage, elle arrive à en contenir 45 0/0, et lorsqu'on l'emploie comme combustible, il faut éliminer la plus grande



**VII. Les hydrocarbures liquides.** — Les hydrocarbures liquides, susceptibles d'être utilisés pour chauffer des chaudières, sont le pétrole, les mazouts et le goudron.

Les mazouts sont les résidus de la distillation du pétrole.

Le goudron est le résidu de la distillation de la houille dans les usines à gaz, qui en produisent près de 5 0/0 du poids du charbon traité et l'utilisent souvent au chauffage des chaudières de leur station centrale.

Le pétrole est un mélange de carbures dérivés du méthane (pétrole d'Amérique) ou de l'éthylène (pétrole de Russie).

Le pouvoir calorifique du pétrole est très élevé, il est voisin de 11.000 calories.

Par distillation du pétrole brut on sépare une série de carbures volatils et on obtient ainsi différents pétroles. En poussant plus loin la distillation, on obtient la vaseline, la paraffine et le coke de pétrole.

La distillation des pétroles de Russie donne un résidu abondant, le mazout, que l'on brûle sur des grilles spéciales.

Les pétroles américains, plus purs, peuvent se brûler directement.

Le pétrole a la composition moyenne suivante :

C	H	O
82 à 85 0/0	13 à 15 0/0	1 à 3 0/0

On peut dire que jusqu'en 1914, le pétrole et les mazouts n'étaient pas employés en France dans l'industrie ; ces combustibles étaient réservés, en général, pour la marine à cause de la facilité d'emmagasinage.

Pendant la guerre, en raison de la pénurie et du coût de la houille, on a cherché à alimenter les foyers des chaudières industrielles avec des mazouts ou même avec des huiles combustibles quelconques.

Depuis, certaines chaufferies importantes ont été installées avec des foyers à deux fins, c'est-à-dire comportant une grille à charbon et des brûleurs à mazout.

Le prix actuel des combustibles liquides et l'approvisionnement normal de la houille ont rendu à ce dernier combustible sa grande suprématie.

L'emploi du pétrole comme combustible paraît extrêmement séduisant à première vue. Il permet d'éviter les cendres si gênantes pour la marche régulière des foyers. On peut assurer un débit régulier de combustible, réglage à volonté par un simple jeu de robinet et par suite obtenir, théoriquement, une combustion proportionnée et complète.

Il y a cependant des difficultés pratiques, car il n'est pas facile d'obtenir un mélange convenable de l'air et du pétrole qu'on veut brûler. Si le pétrole est introduit dans le foyer en gouttelettes trop volumineuses,



il se produit un dégagement gazeux abondant, il y a excès de combustible, la combustion est incomplète, il se dégage des goudrons et des hydrocarbures qui encrassent les conduits et les tubes des chaudières.

On arrive néanmoins à obvier à cet inconvénient par l'emploi de brûleurs spéciaux dans lesquels le mélange du pétrole et de l'air se fait sous pression : le pétrole y est pulvérisé finement et se mélange intimement à l'air par l'intermédiaire d'un jet à forte pression de vapeur ou d'air comprimé. Il y a brassage énergique et la combustion est assurée dans de bonnes conditions.

Le grand avantage du pétrole, en dehors de l'absence des cendres, est aussi la facilité d'emmagasinage. Ce sont ces qualités qui l'ont fait adopter dans les foyers de chaudières marines.

**VIII. Le gaz pauvre.** — Le chauffage au gaz des foyers de chaudières se fait souvent à l'aide de gaz pauvre, de diverses provenances, et dont nous parlerons plus en détail au moment de l'étude des brûleurs. Pour le moment nous nous bornerons à indiquer que ces gaz sont constitués par un mélange d'éléments combustibles, hydrocarbures, oxyde de carbone, hydrogène, dilués généralement dans de l'azote et un peu d'acide carbonique.

Le pouvoir calorifique et les propriétés des gaz pauvres en ce qui concerne leur utilisation dans les foyers sont variables avec leur composition, comme nous le verrons plus loin.

**IX. Combustibles divers.** — *a) Charbon de bois.* — La carbonisation, c'est-à-dire l'enlèvement préalable des matières volatiles contenues dans un combustible, peut s'appliquer au bois, comme à la houille.

Sous l'action de la chaleur, le bois perd d'abord son eau, puis il commence à se décomposer lentement. A 300°, il a perdu 50 0/0 de son poids ; à 400°, il devient noir et ce charbon renferme 80 0/0 de C.

Si le charbon de bois est calciné à haute température, 1.000° par exemple, il possède un pouvoir calorifique de 8.000 calories.

Le charbon de bois industriel renferme 6 à 10 0/0 d'eau, 4 à 8 0/0 de cendres, 80 0/0 de matières volatiles et 80° de C. ; son pouvoir calorifique est inférieur à 7.000 calories.

*b) La tannée.* — La tannée est constituée par l'écorce du chêne ayant servi au tannage des peaux. Elle contient 70 0/0 d'eau à la sortie des fosses de tannerie. Après égouttage, elle arrive à en contenir 45 0/0, et lorsqu'on l'emploie comme combustible, il faut éliminer la plus grande



partie de ce qui reste par compression d'abord, puis par séchage dans la maçonnerie même du fourneau de la chaudière, par exemple.

La tannée brûle comme le bois et renferme plus d'eau et de cendres.

La balle de riz, les cosses de café, la bagasse verte (déchet de canne à sucre) constituent des combustibles de qualités inférieures mais qui ont leur intérêt dans les pays producteurs. Leur combustion doit s'effectuer dans des foyers spéciaux.

c) **Le gaz d'éclairage.** — Le gaz obtenu par la distillation de la houille dans les fours des usines à gaz peut s'employer comme combustible.

Toutefois, en raison du prix actuel de ce gaz, il n'est guère possible d'en faire une application industrielle au cas qui nous occupe.

d) **Le gaz naturel.** — Ce gaz se dégage spontanément dans certaines régions pétrolifères. On n'en trouve pas en France, mais en Russie et en Amérique. Son pouvoir calorifique dépasse de loin celui du gaz d'éclairage et atteint 9.000 calories.

e) **Le gaz des fours à coke.** — Ce gaz est très voisin du gaz d'éclairage, quoique sa composition moyenne corresponde à une puissance calorifique moindre, à cause de la durée prolongée de la distillation. C'est un gaz très employé pour le chauffage des chaudières dans les cokeries.

f) **Les ordures ménagères.** — Pour se débarrasser des ordures ménagères, on peut les brûler dans des foyers spéciaux et convoyer les gaz sous des chaudières pour les utiliser à la production de la force motrice. Le problème de l'incinération des ordures ménagères est des plus complexes, à cause, surtout, de l'irrégularité de composition de ces ordures. Toutefois c'est là une question tout à fait à l'ordre du jour, et les installations existantes montrent que, malgré son extrême difficulté, elle présente actuellement un commencement de solution à la fois au point de vue technique et au point de vue économique. L'étude de cette application sort d'ailleurs de notre programme.

g) **Les boues d'égout.** — C'est un problème analogue au précédent, mais dont la solution est encore moins avancée : les études faites sont basées sur l'emploi du gaz produit par la distillation des boues dans des cornues, après séchage. Les essais faits par le service technique de l'assainissement du département de la Seine ont indiqué que ce gaz avait une puissance calorifique de l'ordre de 3.500 calories par mètre





cube, et que le rendement en gaz était d'environ 80 mètres cubes par tonne de boue sèche.

*h) Divers.* — Signalons enfin que la chaudière peut faire partie d'un ensemble et récupérer des chaleurs perdues, telles que celles des fours métallurgiques.





## CHAPITRE II

### DE LA COMBUSTION

La combustion est l'ensemble des réactions chimiques à la suite desquelles le combustible se combine à l'oxygène de l'air pour donner les gaz à haute température qui seront utilisés dans la chaudière.

Cette combustion est généralement accompagnée de lumière et constitue la combustion vive. C'était la seule utilisée jusqu'à ces derniers temps pour les chaudières. Tout récemment des études particulièrement intéressantes ont été faites sur l'application, au chauffage des chaudières, de la combustion lente ou catalytique ; nous indiquerons ci-après l'état actuel de la question.

La connaissance complète du phénomène de la combustion est indispensable pour la discussion des qualités des divers appareils qui font l'objet du présent ouvrage. Nous n'étudierons toutefois dans ce chapitre que ce qui concerne les combustibles solides ; les propriétés des combustibles liquides et gazeux étant plus utilement rappelées lorsque nous nous occuperons des appareils qui permettent leur utilisation pratique.

**I. Combustion du bois.** — Supposons un feu de bois dont la combustion est avancée, et qui ne renferme plus que des bûches noircies, de la braise et des cendres. Plaçons sur ce feu une bûche, dégageons la cendre et donnons du tirage.

Sous l'action de la chaleur de la braise et des cendres du foyer lui-même, il se forme une fumée blanchâtre qui, bientôt, s'épaissit et prend de l'odeur. La flamme apparaît ensuite, brusquement, et remplace la colonne de fumée qui a disparu : Elle dure pendant un certain temps, puis disparaît à son tour ; on aperçoit un tas de charbon incandescent qui continue à se consumer, sans flamme, et enfin il ne reste plus, à la place de la bûche, qu'un peu de cendre blanche, produit incombustible final.

Examinons en détail ce qui s'est passé.

Le bois, sous l'influence de la chaleur, a commencé par se dessécher,



## DE LA COMBUSTION

son eau s'est vaporisée en donnant la première fumée apparente. Puis, il a distillé et, en raison de la température relativement élevée à laquelle il a été porté brusquement, il s'est dégagé une proportion considérable de vapeurs inflammables. Celles d'alcool méthylique et d'acide acétique, en arrivant à la surface du bois, subissent une décomposition pyrogénée et se transforment en gaz, et c'est là la source combustible qui alimente la flamme.

Mais, au début, ce dégagement gazeux est en grand excès par rapport à l'air qui l'environne et on se trouve en dessous de la limite d'inflammabilité.

Lorsque le dégagement gazeux s'est ralenti, la proportion d'air a augmenté et l'inflammabilité s'est produite.

La flamme en elle-même mérite une étude.

Le mélange de gaz et d'air est variable en proportion, suivant les différentes parties de la flamme.

Au centre de la flamme le gaz est en trop forte proportion et on se trouve au-dessous de la limite supérieure d'inflammabilité.

Au bord, il y a excès d'air et la combustion est complète, mais la flamme s'arrête au point où la proportion de vapeurs combustibles atteint la limite inférieure d'inflammabilité. Il se forme des carbures du carbone et aussi de l'hydrogène. Ces produits atteignent la zone où l'oxygène de l'air pénètre de plus en plus; ils brûlent d'abord partiellement en donnant  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}^2$  et  $\text{H}^2\text{O}$  et se résolvent partiellement encore en C et H, qui subissent eux-mêmes la combustion. Le carbone est porté à l'incandescence et produit la lumière de la flamme. L'hydrogène entoure la flamme d'une gaine chaude.

Au-dessus même du bois, en bas de la flamme, la quantité de gaz est en excès, par suite la flamme n'existe qu'à une certaine distance du bois: elle ne semble pas toucher le bois.

Lorsque la distillation s'est terminée, la flamme s'est rapprochée du bois; celui-ci a été bientôt atteint et la combustion a commencé et s'est continuée dans la masse du charbon de bois, sans flamme, la chaleur se propageant de molécule à molécule et de proche en proche, jusqu'à la combustion complète.

Comme on le voit, la combustion du bois commence par un important dégagement gazeux. Elle se continue par la combustion de ces gaz et ensuite par celle du composé restant: le charbon de bois. On a vu que pendant la première période il y a insuffisance d'air et excès de gaz et, par suite, combustion incomplète; dans la deuxième, il y a une combustion gazeuse, très différente de la troisième phase, qui est une combustion sans flamme.

Cette succession de phénomènes est à peu près générale avec tous les



combustibles solides, et nous verrons ultérieurement l'intérêt qu'il peut y avoir à séparer ces différentes phases dans la conception des foyers.

La combustion du bois est extrêmement facile, grâce à la faible proportion et à l'infusibilité des cendres. L'espace libre entre les bûches assure d'ailleurs le passage de l'air.

Toutefois l'emploi du bois est coûteux et ne peut devenir industriel que si l'on a à utiliser des déchets de fabrication : cas des scieries, par exemple.

**II. Combustion de la houille sur une grille.**

a) **Mécanisme de la combustion.** — Considérons une grille chargée de charbon incandescent et supposons, pour fixer les idées, que la couche de combustible soit entièrement en ignition, c'est-à-dire réduite à une faible épaisseur, l'air passant en excès au travers.

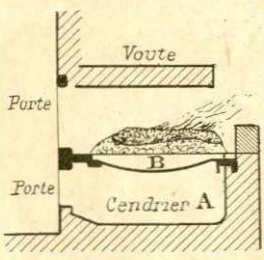


FIG. 3.

Supposons encore un foyer rudimentaire composé de barreaux, d'une porte de chargement, d'un cendrier, d'un briquetage latéral et d'une voûte supérieure (croquis fig. 3).

Chargeons le foyer avec du charbon frais à la température ambiante, en ayant soin de ne maintenir ouverte la porte de chargement que le temps strictement nécessaire.

La masse de houille froide introduite va produire d'abord un abaissement considérable de la température du foyer ; l'air qui a passé au-dessus de la grille pendant l'ouverture de la porte de chargement contribuera également à ce refroidissement.

La température du foyer reste cependant assez élevée pour produire la distillation de la houille neuve pendant que celle-ci, si elle est grasse, s'agglomère en subissant la fusion pâteuse comme nous l'avons indiqué plus haut. Les grains menus s'agglomèrent aussi, et cela évite la perte par le cendrier.

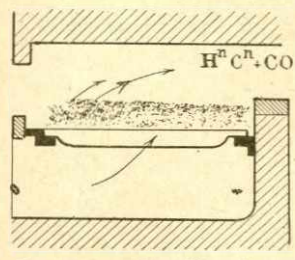


FIG. 4. — Première phase de la combustion sur une grille.

La distillation se produit ensuite et progressivement : et cette période qu'on appelle encore la cokéfaction, joue dans la marche du foyer des chaudières un rôle important au même titre que l'agglomération. D'ailleurs on confond souvent ces deux périodes successives, et on désigne indistinctement par le terme *cokéfaction* ou *agglomération* l'ensemble de la fusion et de la distillation.



Comme dans le cas de la combustion du bois, il y a, pendant la période de distillation, un dégagement important de gaz. Précisément l'épaisseur de combustible est alors maxima et s'oppose au passage d'air supplémentaire qui serait nécessaire pour assurer une combustion complète. Il se produit en ce moment des phénomènes d'équilibres chimiques, difficiles à déterminer isolément, qui prennent naissance, se poursuivent simultanément et dont le rôle est primordial. Le mécanisme de ces réactions peut être expliqué grossièrement de la façon suivante :

L'air pris au cendrier, en A, arrive au contact du charbon incandescent. Il s'échauffe et passe sur le charbon frais. Il se forme de l'acide carbonique qui, au contact du charbon, est réduit en donnant de l'oxyde de carbone qui brûle au contact de l'excès d'air.

La température était maximum lors de la combustion en  $\text{CO}^2$ ; la production de  $\text{CO}$  absorbant une quantité importante de chaleur : la température va s'abaisser.

En même temps la houille commence à distiller lorsqu'elle atteint une température suffisante : elle dégage des hydrocarbures qui tendent à se décomposer pour donner de l'hydrogène et du carbone, sur lesquels l'acide carbonique agira pour donner de l'oxyde de carbone. Il se forme donc des composés nombreux et un état d'équilibre instable variant essentiellement avec la température. A  $350^\circ$ , la cokéfaction commence; à  $500^\circ$ , le dégagement de matières volatiles se fait; il se dégage des hydrocarbures qui sont brûlés incomplètement. Puis la température s'élevant, il y a décomposition des hydrocarbures. La masse de combustible qui a dégagé la plus grande partie de ses gaz a diminué d'épaisseur et laisse maintenant passer l'air en quantité plus importante. La combustion entre dans la phase rationnelle. Les carbures qui se dégagent sont complètement brûlés.

A  $900^\circ$ , le dégagement des gaz est à peu près terminé, autrement dit la cokéfaction est complète et c'est du coke qui brûle maintenant sur la grille. Si la houille est grasse, il s'est produit des blocs de coke et le passage de l'air peut être gêné. Si la houille est suffisamment grasse sans l'être trop, il s'est produit une cokéfaction régulière qui empêche la perte des menus à travers la grille et laisse cependant passer l'air en quantité voulue.

Le coke brûle pour ainsi dire par combustion *interne*. L'air passe bientôt en excès, la couche de combustible diminuant sensiblement en

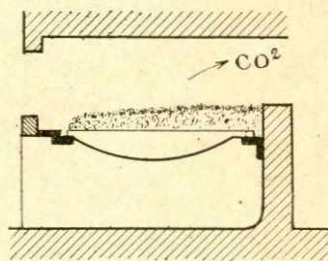


FIG. 5. — Deuxième phase de la combustion sur une grille.



épaisseur et par suite offre moins de résistance au passage de l'air. Celui-ci arrive bientôt en grand excès, il emprunte inutilement au foyer des calories pour chauffer sa masse.

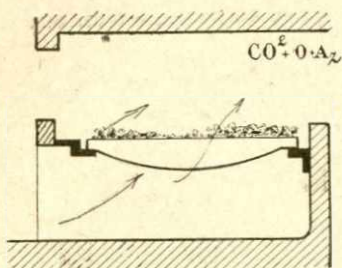


FIG. 6. — Troisième phase de la combustion sur une grille.

La combustion entre dans la troisième phase, celle de la combustion avancée. Il va falloir recharger, et les phénomènes ci-dessus se renouvellent.

Il faut éviter que l'oxyde de carbone et les carbures combustibles soient entraînés à la cheminée sans être brûlés pour cause de manque d'air. Il peut se produire des réallumages et des explosions, et en tous cas une perte de rendement est certaine.

Aussi verrons-nous plus loin combien certains constructeurs se préoccupent de ramener de l'air sur le trajet des gaz, de manière qu'aucune molécule combustible n'échappe à la combustion.

En ce qui concerne l'oxyde de carbone, par exemple, la chaleur de formation de ce gaz à partir de ses éléments C et O est de 2.433 calories; au contraire, dans les mêmes conditions, la chaleur de formation de l'acide carbonique est de 8.137 calories. Si 1 kilogramme de charbon a donné de l'oxyde de carbone non brûlé, c'est donc 5.684 calories qui se trouvent perdues.

L'acide carbonique étant le composé final le plus intéressant à produire, il en résulte que la recherche du  $\text{CO}_2$  dans les gaz sortant d'une chaudière, constitue une épreuve utile de la qualité de la combustion.

*b) Formation des mâchefers.* — Nous avons laissé de côté un point important sur lequel nous allons insister : c'est la formation des cendres et de mâchefers.

Nous avons dit que la houille renferme de 5 à 20 0/0 de cendres et plus généralement de 8 à 10 0/0 avec les charbons industriels employés pour les chaudières. Lorsque la température du foyer est élevée, les cendres fondent partiellement au moins et forment ce qu'on appelle les mâchefers qui, se répandant sur la grille, y collent et obturent le passage de l'air.

Dans les foyers ordinaires des chaudières les mâchefers se produisent toujours, parce que la température d'un point quelconque de la masse de combustible atteint toujours une température suffisante en raison de la marche même du foyer, qui, à un moment donné, comme nous l'avons vu, présente un maximum de rendement et de température. Il est juste de dire que cette formation de mâchefer est en rapport avec la fusibilité des cendres variable d'après la nature de celles-ci.

Pour obvier à l'inconvénient du mâchefer, il faudrait obtenir dans la



masse du combustible et pendant toute la combustion, une température nettement inférieure à celle de la fusion des cendres. Ou bien élever la température de fusion des cendres en mélangeant certaines substances au charbon de manière à empêcher la fusion des cendres. Enfin on peut encore diminuer la température de fusion et la viscosité des cendres de façon à les faire couler comme de l'eau à travers la grille en ajoutant des « fondants ».

Il est impossible pratiquement de provoquer la fusion du mâchefer, car il faudrait construire spécialement le foyer, soit qu'on utilise des fondants, soit qu'on pousse la température pour obtenir naturellement cette fusion. De plus, dans ce dernier cas, on ne peut songer à maintenir régulièrement une forte température au foyer.

On se trouve donc entre deux desiderata contradictoires : 1° maintenir une haute température pour assurer une bonne combustion ; 2° maintenir une température relativement basse, de façon à éviter la fusion partielle des cendres et la formation des gâteaux de mâchefer.

Pratiquement, la température des foyers est voisine de 1.000°, aux allures poussées elle atteint 1200°, mais dépasse rarement cette dernière température.

On arrive à pallier les inconvénients des mâchefers, à éviter leur adhérence par des dispositions ingénieuses qui permettent de les accumuler en des endroits voulus, de les produire en des points choisis en vue de faciliter leur enlèvement à un moment convenable.

c) *Conditions d'une bonne combustion.* — En raison des phénomènes que nous venons d'examiner, nous pouvons déjà dire qu'un foyer, dans lequel on brûle de la houille sur une grille, devra remplir les conditions suivantes :

1° Être alimenté par des chargements aussi réguliers que possible, à petite quantité à la fois, ou même à débit continu, en vue d'obtenir toujours une combustion complète ;

2° Présenter une couche uniforme de combustible offrant à l'air une résistance uniforme, et toujours égale en tous les points ;

3° Obtenir un brassage et un mélange complet et aussi intime que possible entre l'air et les gaz produits ;

4° Constituer une enceinte à haute température, pour faciliter la combustion et la rendre plus complète ;

5° Offrir les dispositions nécessaires pour éliminer facilement les mâchefers et éviter leur adhérence.

La houille utilisée doit autant que possible avoir un pouvoir agglomérant suffisant, de façon que la composition de la couche de combustible soit satisfaisante.





Si l'air passe trop facilement, il aura vite fait un trou au point où l'épaisseur du combustible est moindre, et il s'engouffrera par là, inutilement d'ailleurs.

Les houilles demi-grasses, contenant 16 à 25 0/0 de matières volatiles, sont de bonne qualité pour le foyer des chaudières. La désagrégation se fait assez rapidement par suite de la distillation et facilite le contact de l'air avec le charbon en combustion. La combustion est assez rapide, et c'est la qualité de charbon qui convient le mieux pour les allures ordinaires de combustion.

Lorsqu'on veut brûler des lignites ou des poussières de coke à pouvoir agglomérant nul, il faut les mélanger préalablement avec une proportion déterminée de combustibles gras, collants, de manière à réaliser la couche homogène ci-dessus indiquée.

S'il s'agit d'anhracite, la désagrégation et la distillation se font très lentement à cause de la grande quantité de carbone fixe contenue. Le coke, qui est un combustible déjà distillé, est, aux cendres près, du carbone fixe ; sa combustion est également lente, et il ne brûle pas dans les mêmes conditions que le charbon demi-gras.

Si donc on veut brûler du coke ou de l'anhracite dans un foyer disposé pour du charbon bitumineux, il faudra, pour obtenir le même résultat calorifique, le brûler sur une épaisseur plus grande et augmenter le tirage.

D'une façon générale, il faut d'ailleurs que l'épaisseur de combustible soit convenable et en rapport avec le tirage et la nature du combustible, de façon que la résistance opposée au passage de l'air soit compatible avec le débit nécessaire.

La mauvaise combustion dans un foyer de chaudière provient soit d'une insuffisance, soit d'un excès d'air. Dans le premier cas, la combustion incomplète se manifeste par la présence de fumée, d'autant plus visible qu'il faut peu de matières volatiles non brûlées pour colorer les gaz qui s'échappent d'une cheminée. Dans le second cas, souvent il n'y a pas de trace apparente : mais les produits de la combustion renferment une quantité d'air qui emporte avec lui des calories inutilisées.

Au point de vue du chauffage des chaudières, nous distinguerons dès maintenant la *combustion* et le *chauffage*, et nous poserons comme principe qu'il est bon, *au point de vue de la combustion*, de ne procéder au *chauffage* de la chaudière qu'après la *combustion* au foyer. Autrement dit, le foyer et l'utilisation des calories produites doivent être séparés au moins théoriquement, et l'opération du *chauffage* ne doit pas empiéter sur celle de la *combustion* dans le foyer.

Ce sont là des principes logiques, qui ne sont réalisés pratiquement seulement que dans quelques types de chaudières. Puisqu'il faut obte-



nir une haute température au foyer pour assurer une bonne combustion, il paraît donc illogique de diminuer cette température en constituant une des faces du foyer par un récepteur de chaleur dont la température, forcément voisine de 200°, se trouve être basse par rapport à celle à obtenir dans l'enceinte.

De plus l'exposition d'une partie du récepteur de chaleur au rayonnement direct d'un foyer, n'est pas sans présenter des inconvénients.

Nous verrons plus loin que la quantité de chaleur reçue par rayonnement par une chaudière est avantageuse en ce qui concerne l'utilisation des calories du foyer et qu'il peut y avoir pratiquement intérêt, à ce point de vue, à placer une partie de la surface de chauffe au-dessus du foyer, en prenant des précautions et des dispositions judicieuses.

Quoi qu'il en soit, il faut toujours laisser au charbon frais qu'on place de préférence à l'avant de la surface de la grille, le temps et le moyen de dégager ses gaz, et de mélanger ceux-ci avec l'air chaud qui passe à travers la grille et surtout à l'arrière. Il faut donc toujours, au-dessus de la grille, une capacité en rapport avec la nature du combustible.

On aura toujours intérêt à faire de petites charges, souvent répétées, ou mieux à faire un chargement complètement régulier comme cela a lieu avec les foyers mécaniques que nous étudierons plus loin.

Lorsque l'alimentation du foyer se fait à la main, la façon de charger et l'intervalle des chargements jouent un rôle important. Si on a soin de placer le charbon à l'avant de la grille et en petite quantité, les hydrocarbures sont en partie brûlés par l'excès d'air qui passe par la partie éloignée de la grille.

Mais ceci n'est possible qu'en mettant peu de charbon frais à la fois, c'est-à-dire avec des intervalles de chargement très rapprochés.

*d) Détermination de la valeur d'une houille.* — Il faut, pour choisir une houille devant convenir à un foyer déterminé, se rendre compte de la valeur des échantillons qui sont proposés.

Pratiquement, on peut procéder ainsi :

- 1° Déterminer le pouvoir calorifique  $\left\{ \begin{array}{l} \text{supérieur,} \\ \text{inférieur;} \end{array} \right.$
- 2° Faire l'analyse en cendres, coke, matières volatiles;
- 3° Déterminer le rendement thermique à la chaudière.

Le pouvoir calorifique ne peut se déterminer qu'au moyen de la bombe calorimétrique si on cherche un procédé sûr et pratique. La bombe donne le pouvoir calorifique supérieur.

On peut encore déduire le pouvoir calorifique des résultats de l'analyse





en employant l'une quelconque des formules empiriques suivantes :

formule de Dulong :  $N = C \cdot 8.140 + \left( H - \frac{O}{8} \right) 29.000 ;$

formule de Cornut :  $N = C \cdot 8.140 + C \cdot 11.362 + H \cdot 34.462 ;$   
fixe volatil

formule de Ser :  $N = mP_0 = m8 \left( \frac{C}{3} + H \right)$  avec  $m = 3.360 ;$

formule de Mahler :  $N = C \cdot 8.140 + H \cdot 34.500 - (O + Az) 3.000.$

Ces formules sont basées sur les lois de Dulong et de Welter et donnent des résultats approchés. — Leur application nécessite l'analyse préalable de la houille.

Une excellente formule est celle de Goutal, qui fait intervenir la teneur en carbone fixe et en matières volatiles et donne à 1 ou 2 0/0 près le même résultat que la bombe calorimétrique. La formule est la suivante :

$$N = 82C + aV,$$

C, carbone fixe ; V, matières volatiles ; a, un multiplicateur variable, fonction des matières volatiles V' du combustible supposé pur (sans eau ni cendres).

Pour tous les combustibles dont les matières volatiles V' sont inférieures à 40 0/0, les valeurs de a sont indiquées par le tableau ci-dessous.

V'	a	V'	a	V'	a	V'	a
0/0	Calories	0/0	Calories	0/0	Calories	0/0	Calories
1 à 5	150	14	120	23	105	32	97
5	145	15	117	24	104	33	96
6	142	16	115	25	103	34	95
7	139	17	113	26	102	35	94
8	136	18	112	27	101	36	91
9	133	19	110	28	100	37	88
10	130	20	109	29	99	38	85
11	127	21	108	30	98	39	82
12	124	22	107	31	97	40	80
13	122						

Donnons un exemple de l'application de cette formule pratique :  
 Supposons

C = 84,04 carbone fixe,

V = 9,68 matières volatiles sans eau.

Cendres = 5,30 eau = 0,98

$$V' \text{ eau et cendres déduits} = \frac{V \times 100}{C + V} = \frac{9,68 \times 100}{84,04 + 9,68} = 10,44$$





correspondant à

$$a = 129$$

$$P = (82 \times 84,04) + (129 \times 9,68) = 8.140 \text{ calories.}$$

Enfin la formule de Lenoble donne aussi le pouvoir calorifique, elle s'exprime ainsi :

$$N = 87,4 (100 - k)$$

$k$  est la somme du pourcentage en eau hygroscopique et du pourcentage en cendres.

L'analyse de la houille est une opération indispensable. Les marchés sérieux s'établissent suivant l'analyse, le fournisseur étant tenu de livrer pendant la durée du marché un charbon dont la teneur en cendres, en coke, en matières volatiles sera celle reconnue sur l'échantillon d'adjudication, à une tolérance près.

L'analyse peut se faire rapidement de la manière suivante :

On commence par déterminer un échantillon moyen. Sur différents points d'un tas, on fait des prélèvements de façon à obtenir, par exemple, 100 kilogrammes, qu'on étale ; on y prend en différents points, de façon à avoir 50 kilogrammes, environ. On pilonne ces 50 kilogrammes, puis on fait encore un tas et on prend plusieurs poignées en places régulièrement réparties. On broie au cylindre de façon à obtenir une poudre dont on prélève de quoi remplir un flacon.

On pèse alors 1 gramme de cette poudre dans une capsule en platine tarée à l'avance, et on porte dans un four chauffé au gaz. Le charbon brûle complètement ; il ne reste que les cendres, qu'on pèse. Supposons qu'on trouve 5<sup>es</sup>,3<sup>ms</sup> : la houille examinée renferme 5,3 0/0 de cendres.

On fera la même opération avec 2 grammes de la poudre pesés dans un creuset de platine taré à l'avance et muni d'un couvercle percé d'un trou. La houille distille à l'abri de l'air et il reste le coke que l'on pèse. Supposons qu'on trouve 1<sup>er</sup>,6 : la houille renferme donc 80 0/0 de coke.

Pour déterminer la teneur en eau, il suffit de chauffer la houille dans une étuve dont la température est maintenue entre 105 à 110°. Il faut éviter d'élever trop la température de l'étuve, et il y a intérêt à placer la poudre de charbon dans un tube de verre de façon à ce que la surface de contact avec l'air soit réduite au minimum. En effet il se produit, à la surface du combustible, sous l'action de l'oxygène de l'air de l'étuve, une oxydation d'autant plus profonde que la température de l'étuve est plus élevée. C'est là une cause d'erreur faible, il est vrai, dans les analyses.

Ayant la composition en coke, en cendres et en eau, on peut connaître tout. Le carbone fixe sera égal au coke moins les cendres. Les matières volatiles sans l'eau seront égales à  $100 - (\text{coke} + \text{eau})$ .





La teneur en cendres et en matières volatiles varie selon qu'on prend de la gailleterie ou des fines, provenant d'un même charbon ; on conçoit donc tout l'intérêt d'établir avec soin l'échantillon moyen de l'essai. Pour montrer les erreurs qu'on peut commettre en négligeant les précautions indiquées, nous allons donner la composition d'un même charbon établie : 1° sur la gailleterie ; 2° sur les fines :

	Gailleterie	Fines
Matières volatiles.....	33,80 0/0	31,73 0/0
Cendres .....	8,38	12,64
Matières volatiles, cendres déduites..	36,89	36,32

En outre, les fines contiennent plus d'eau.

L'essai le plus important à faire pour choisir une houille consiste à brûler celle-ci dans un véritable foyer et à déterminer le nombre de calories qu'elle a transmis à l'eau d'une chaudière connue. Cet essai dit *à la chaudière* détermine le nombre de kilogrammes d'eau vaporisés par kilogramme de charbon brûlé. On opérera ainsi :

On maintiendra le niveau d'eau à la chaudière pendant toute la durée de l'essai. Le fourneau étant chaud, on retire le combustible de la grille, (combustible provenant d'un essai précédent), et on introduit une quantité donnée de bois d'allumage, auquel on ajoute du charbon. On pèse le combustible introduit et on vaporise une quantité d'eau strictement mesurée par un jaugeur vérifié. On note la température de cette eau introduite à la chaudière. On laisse échapper la vapeur produite à la chaudière dans l'atmosphère, afin d'avoir une consommation bien régulière. L'alimentation du foyer se fera régulièrement, et on aura soin de noter pendant la durée de l'essai, toutes les dix minutes par exemple, la température des gaz au fourneau, dans le conduit de fumée, dans la cheminée, et aussi le tirage en millimètres d'eau, afin de s'assurer de la régularité de la marche du foyer.

L'essai ne doit pas durer moins de deux heures.

A la fin de l'essai, on relève la quantité d'eau introduite dans la chaudière, la quantité de charbon restant sur la grille, les cendres. On peut alors établir le tableau suivant, qui donne tous les renseignements relatifs à l'essai. L'exemple considéré porte sur du tout-venant à 45 0/0, fosse 12 de Lens.

On a introduit 125 kilogrammes de charbon pendant l'essai, il en reste 25,5 sur la grille, à la fin ; on a donc consommé :

$$125 - 25,5 = 99 \text{ k, } 5,$$

auxquels il faut ajouter une certaine quantité équivalente aux 6 kilogrammes de bois introduits pour l'allumage ; on évalue en général cette quantité de charbon équivalente en prenant le tiers du poids de bois,



soit ici 2 kilogrammes. De plus il y a une certaine quantité de charbon qui a passé sous la grille à travers les barreaux sans brûler complètement, c'est ce qu'on appelle les escarbilles. On les retrouve avec les cendres dont on les sépare par tamisage pour les peser. Le poids trouvé est frappé d'un certain coefficient, car les escarbilles ont brûlé cependant en partie avant de passer dans le cendrier : c'est pourquoi on ne retranche de la quantité de charbon utilisé que les 2/3 du poids d'escarbilles, soit ici 9<sup>kg</sup>,1, on trouve alors le charbon consommé sur la grille, 92<sup>kg</sup>,40.

Ces 92<sup>kg</sup>,40 ont vaporisé 746 kilogrammes d'eau prise à 19° et vaporisée à la pression de 7 kilogrammes — ou en ramenant à 0° et à la pression atmosphérique : 748 kilogrammes d'eau.

Le rendement de l'essai est donc :

$$748 : 92,40 = 8,09,$$

c'est-à-dire que 1 kilogramme de charbon utilisé est capable de vaporiser 8<sup>kg</sup>,09 d'eau prise à 0° et vaporisée à la pression atmosphérique. En opérant de la même manière avec plusieurs combustibles houilleux de provenances différentes, on est à même de juger celui qui convient le mieux en donnant un meilleur rendement.

LENS, FOSSE 12. — TOUT-VENANT 45 0/0.

Chaudière n°

Eau prise à 19° et vaporisée à la pression de 7 kilogs : 746 kilogs.

Calories absorbées : 746 kilogs (658 — 19) = 476.694 calories.

Équivalent en eau prise à 0° et vaporisée à la pression atmosphérique =

$$\frac{476.694}{637} = 748 \text{ kilogs.}$$

VAPORISATION, ESSAI A LA CHAUDIÈRE

Charbon pesé.....	125 <sup>kg</sup>
Reste.....	25 <sup>kg</sup> ,5
Charbon consommé.....	99 <sup>kg</sup> ,5
Bois d'allumage, équivalent 1/3...	2
Total.....	101 <sup>kg</sup> ,5
Escarbilles, équivalent 2/3.....	9 ,1
Charbon consommé.....	92 <sup>kg</sup> ,40

RENDEMENT

Eau vaporisée.....	748 <sup>kg</sup>
Charbon consommé.....	92 ,40
Rendement par kilogramme.....	8 ,09



LES FOYERS DE CHAUDIÈRES

RÉSIDUS

Cendres.....	3 <sup>kg</sup> ,55 0/0
Mâchefer.....	0 ,02
Ensemble.....	3 <sup>kg</sup> ,57 0/0

ANALYSE

<i>Incinération à la capsule.</i>		<i>Carbonisation au creuset.</i>	
Cendres.....	3,60 0/0	Coke.....	73,38 0/0
Aspect des cendres :		Aspect du coke :	
Eau.....	0,82 0/0	Matières volatiles eau et cendres déduits.....	26,99 0/0

TEMPÉRATURES (essais à la chaudière).

HEURES	RÉSERVOIR D'EAU	FOURNEAU	CONDUIT DE FUMÉE	CHEMINÉE	CHAMBRES DES CHAUDIÈRES
2 <sup>h</sup> ,18	19°	132 168	155	115	
4 <sup>h</sup> ,18		189	215	141	

e) *Quantité d'air nécessaire à la combustion de la houille sur une grille.* — La quantité d'air devant traverser la grille doit être strictement déterminée si on veut avoir une bonne combustion. Si l'air est en quantité insuffisante, les hydrocarbures ne sont pas brûlés, il se forme aussi CO, et il y a mauvaise combustion. S'il y a excès d'air, on introduit une quantité inutile de comburant qui s'échauffe et produit une perte appréciable de calories.

Théoriquement la combustion complète de 1 kilogramme de charbon exige environ 12 kilogrammes d'air. Pratiquement il faut un excès d'air et comme les conditions de marche des foyers ne sont pas absolument régulières et qu'on ne peut régler mathématiquement l'admission d'air, à certains moments beaucoup trop importante, on compte sur 18 à 20 kilogrammes d'air par kilogramme de charbon.

**III. Combustion de la houille ou du coke en vue de la fabrication du gaz pauvre. — Gazogènes.** — Dans les gazogènes, on cherche non plus à brûler complètement le charbon, pour utiliser sa radiation et la chaleur renfermée dans les produits de la combustion, mais, au contraire, à former avec ce charbon des gaz



combustibles, qui seront brûlés ailleurs et par des moyens appropriés.

Le fonctionnement des gazogènes est extrêmement complexe, car un grand nombre de phénomènes se superposent : pour les étudier, il faut faire intervenir la théorie des équilibres chimiques, et nous ne saurions mieux faire que de renvoyer le lecteur aux travaux de MM. Le Chatelier et E. Damour; nous résumerons seulement ici les conclusions de ces études, dans l'esprit de notre programme essentiellement pratique.

Les phénomènes principaux qui interviennent dans les gazogènes sont les suivants :

1° Combustion du charbon en donnant de l'acide carbonique, ce qui dégage une très grande quantité de chaleur et amène localement à une haute température;

2° Transmission de cette chaleur à toute la masse de combustible par conductibilité et par convection;

3° Distillation du combustible et production d'hydrocarbures, gazeux et liquides, diminution de température;

4° Réduction de l'acide carbonique par le charbon rouge et production d'oxyde de carbone, nouvelle diminution de température.

On obtient donc un mélange d'hydrocarbures gazeux ou en vapeurs, d'oxyde de carbone et d'acide carbonique, en proportions variables.

Généralement on ajoute de l'eau, soit de l'eau liquide, soit de la vapeur; le résultat est d'abaisser l'allure du gazogène et d'apporter un nouvel élément combustible dans le gaz. En effet, sous l'influence de l'eau, le charbon et les hydrocarbures donnent de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène.

En dehors de ces phénomènes principaux, il s'en produit un grand nombre d'autres, dont nous allons indiquer les principaux.

L'acide carbonique peut se dissocier en donnant de l'oxyde de carbone et de l'oxygène, mais cette dissociation n'est guère sensible au-dessous de 1.500°.

Au contraire l'oxyde de carbone se dissocie à basse température, à partir de 3 ou 400°; cette dissociation est à peu près négligeable au delà de 800°, l'oxyde de carbone étant d'autant plus stable que la température est plus élevée.

L'oxyde de carbone en présence de l'eau peut donner de l'acide carbonique et de l'hydrogène, mais cette réaction qui commence à basse température est réversible : il se produit un état d'équilibre caractérisé par ce fait que plus la température est élevée, plus la proportion d'acide carbonique est forte par rapport à l'oxyde de carbone.

Suivant la proportion d'eau, le gaz pauvre contient plus ou moins d'hydrogène; mais s'il y a beaucoup d'eau, tout le carbone servant à for-



mer de l'oxyde de carbone aux dépens de l'oxygène provenant de la décomposition de cette eau, est perdu pour la réduction de l'acide carbonique; le gaz produit renfermera donc d'autant plus d'acide carbonique qu'on aura introduit plus d'eau.

D'autre part, la théorie montre qu'il est impossible de réduire complètement l'acide carbonique: il y a une limite inférieure pour la teneur en ce gaz, laquelle dépend de la température de sortie des gaz du gazogène.

Le méthane et les goudrons produits sont à peu près stables au-dessous de 800°; au-dessus, ils se décomposent, et donnent du carbone qui est en partie perdu pour la production du gaz et se retrouve à l'état solide soit dans le gaz, soit dans les goudrons qui se déposent dans les conduites.

On voit donc que l'allure du gazogène influe considérablement sur la qualité du gaz produit, ainsi que sur tous les phénomènes secondaires et accessoires du fonctionnement de l'appareil, et on comprend immédiatement que la demande plus ou moins grande de gaz ou toute modification dans la nature du combustible auront une répercussion importante sur le réglage.

Indépendamment de son influence sur la composition du gaz, l'allure a aussi un rôle considérable en ce qui concerne la formation du mâchefer.

Plus l'allure est poussée, plus la température de gazogène s'élève, et plus la fusion des cendres est facile. Avec des teneurs en cendres inférieures à 10 0/0, on peut dépasser l'allure de 100 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure, mais avec des teneurs en cendres de l'ordre de 20 0/0, il ne faut pas compter sur plus de 50 kilogrammes. La question du mâchefer est de telle importance pour la marche continue du gazogène que le décrassage est une des opérations à laquelle les inventeurs se sont le plus attachés: on a créé particulièrement les gazogènes à sole tournante, type universellement adopté aujourd'hui.

On a aussi tendance à élever l'allure, mais pour cela il faut souffler le gazogène à une pression élevée. Les gazogènes dits sous pression reçoivent de l'air à la pression de 250 à 300 millimètres d'eau. Mais les vitesses des gaz deviennent telles que des entraînements de poussières considérables ont lieu: elles sont de l'ordre de 500 grammes et même 1 kilogramme par 100 mètres cubes de gaz produit. Il faut enlever ces poussières avant les brûleurs, car elles constituent des fondants pour les briquetages réfractaires. Il faut des dépoussiéreurs très importants, du type de ceux employés avec les moteurs à gaz pauvre: ce sont des appareils mécaniques et des laveurs, qui compliquent les installations et abaissent le rendement.

Dans les gazogènes, on peut employer toutes espèces de charbons, mais



généralement on n'admet pas une proportion de fines (de 0 à 5<sup>mm</sup>) supérieure à 20 0/0. Cette proportion dépend d'ailleurs de la pression de soufflage, et est d'autant plus élevée que cette pression est elle-même plus forte. Cependant les plus commodes variétés à employer sont les maigres classés en morceaux de la grosseur d'un œuf renfermant des cendres peu fusibles et en faible quantité.

Les lignites et les substances maigres à longues flammes produisent un gaz riche. Les maigres à courtes flammes donnent un gaz moins riche, mais plus propre. Les houilles grasses forment un gâteau de coke qu'il faut briser. On peut les employer en les mélangeant convenablement avec des maigres. Le coke, malgré sa forte teneur en cendres est d'un emploi intéressant.

#### IV. Combustion des hydrocarbures liquides et du gaz. —

La combustion de tous les combustibles liquides se fait sans laisser de résidus. Elle offre l'avantage de la régularité possible par suite d'un débit continu du combustible.

Toutefois il faut, pour obtenir un bon résultat, créer un mélange intime du combustible et du comburant : du pétrole et de l'air.

Nous aurons l'occasion de revenir longuement sur cette question en traitant les foyers à pétroles.

Il en est de même pour ce qui concerne la combustion du gaz que nous étudierons en détail dans le chapitre spécial sur les foyers à gaz.

#### V. Température dans les foyers. —

L'étude de la combustion nous a amené à parler des températures que prend la masse du combustible aux divers points et nous avons montré que cette température joue un rôle important dans l'état d'équilibre des réactions accompagnant la combustion.

*a) Détermination par le calcul. —* Supposons un foyer de chaudière ordinaire, c'est-à-dire le cas d'une combustion solide sur une grille. On peut chercher à déterminer la température du foyer en séparant la quantité de chaleur en deux parties : chaleur rayonnée et chaleur emportée par le gaz. En tenant compte d'un certain rendement, on pourra égaler cette somme à la chaleur fournie, déduite du poids de combustible brûlé et de son pouvoir calorifique. On trouvera ainsi une équation qui permettra de calculer  $T$  par approximations successives.

Cette méthode de calcul fait intervenir les règles du rayonnement, suppose un coefficient de rayonnement de la surface du combustible, elle admet une valeur moyenne de la chaleur spécifique des gaz (la chaleur spécifique des gaz variant comme on le sait avec la température), suppose





que la température des gaz dans le foyer est la même que celle de la surface incandescente qui rayonne; elle admet encore un rendement donné du foyer, laisse de côté les pertes par les parois des foyers. En un mot cette méthode ne doit donner qu'un résultat approximatif. Toutefois comme avec l'emploi des coefficients indiqués par Ser, les résultats donnés par cette méthode de calcul s'approchent beaucoup de la vérité, nous reproduisons ici les formules auxquelles elle conduit.

Désignons par M, la quantité de chaleur produite en une heure par la combustion au moment où les gaz se dégagent de la surface du combustible.

Cette chaleur peut se décomposer en deux parties :

$$M = R + G$$

chaleur rayonnée
chaleur qui se trouve dans les produits de la combustion

M est égal à  $\alpha psN$ , c'est-à-dire une fraction de la chaleur  $psN$  qu'est susceptible de produire la combustion complète.

$p$ , désignant le poids de combustible brûlé par mètre carré de grille et par heure;

$s$ , la surface de la grille;

$N$ , le pouvoir calorifique du combustible.

et  $\alpha$  étant un coefficient qu'on peut prendre pratiquement égal à 0,70 ou 0,75, pour la houille. Ce coefficient dépend de la teneur en matières volatiles, c'est-à-dire de la quantité de gaz qui s'échappe et brûle au-dessus de la couche en ignition.

Cherchons à déterminer R et G.

$$R = 124,72rs(a^T - a^t)$$

d'après la loi de Dulong et Pécelet.

Dans cette équation,  $r$  est le coefficient de radiation du charbon = 0,30 (Ser);

$T$ , désigne la température du foyer;

$t$ , est la température des parois de l'enceinte sur lesquelles se produit le rayonnement;

$s$ , surface de rayonnement = la surface de la grille;

R s'écrira donc :

$$R = 37,5s(a^T - a^t),$$

Calculons G, chaleur contenue dans les produits de la combustion :

$$G = Pc(T - \Theta),$$

P étant le poids des gaz produits : s'il faut A kilogramme d'air pour



DE LA COMBUSTION

brûler 1 kilogramme de combustible, ce poids  $P$  de gaz formés par la combustion d'un poids  $ps$  de combustible s'écrira :

$$P = (ps + psA) = ps(A + 1).$$

$c$ , la chaleur spécifique de ces gaz : 0,266, valeur moyenne;  
 $T$ , température du foyer (à laquelle les gaz quittent le foyer);  
 $\theta$ , température d'entrée de l'air et du charbon = température extérieure.

Nous écrirons donc :

$$M = R + G,$$

c'est-à-dire :

$$\alpha psM = 37,5s(a^r - a^t) + ps(A + 1)c(T - \theta),$$

ou, en négligeant  $a^t$  devant  $a^r$ , et  $\theta$  devant  $T$  :

$$\alpha pN = 37,5a^r + p(A + 1)cT,$$

formule indépendante de  $s$ , surface de grille.

Lorsqu'il s'agit d'un foyer extérieur, Ser remplace le coefficient 37,5 par 26,25 pour tenir compte du rayonnement indirect des parois en maçonnerie.

Et on a dans ce cas :

$$\alpha pN = 26,25a^r + p(A + 1)cT.$$

Ces formules permettent de calculer  $T$  pour une allure de combustion donnée, avec un combustible connu et une proportion d'air déterminée. Si on veut être plus exact, il faut tenir compte de la variation de la chaleur spécifique des gaz en appliquant la loi de M. Le Chatelier :

$Q$ , la quantité de chaleur nécessaire pour échauffer le poids moléculaire d'un gaz depuis sa température 0 absolue jusqu'à  $T^\circ$ , est donnée par l'équation :

$$Q = a \frac{T}{4.000} + b \frac{T^2}{4.000^2}.$$

formule dans laquelle  $a$  est une constante égale à 6,5 pour tous les gaz et  $b$  est une constante ayant la valeur suivante d'après la nature des gaz :

- $b = 0,6$  pour gaz parfaits O, H, Az, CO
- $b = 2,9$  pour  $H^2O$
- $b = 3,7$  pour  $CO^2$
- $b = 6$  pour  $CH^4$

Nous pouvons déduire  $G_p$ , chaleur spécifique du poids moléculaire.





Ce sera :

$$(1) \quad C_p = \frac{dQ}{dT} = \frac{a}{1.000} + \frac{2bT}{1.000^2}$$

Et on déduira  $C_p$  du poids du kilogramme :

$$\frac{C_p}{P} 1.000.$$

Cette opération étant faite pour tous les gaz entrant dans la composition des gaz du foyer, on pourra déduire la température cherchée.

En effet on a  $N$ , puissance calorifique du combustible, donnée par :

$$N = \Sigma p c t = t \Sigma p c,$$

$p, p', p''$  étant les poids des composés après la combustion, d'où :

$$(2) \quad t = \frac{N}{\Sigma p c},$$

$$(3) \quad t = T - 273.$$

Les équations (1), (2) et (3) permettent de résoudre le problème. Cette méthode n'est pas pratique, elle nécessite la connaissance complète des produits de la combustion; connaissance qu'on peut déterminer théoriquement en se donnant une valeur déterminée de l'excès d'air introduit. La méthode est théorique et longue. Pour la simplifier, M. Le Chatelier a établi des graphiques, permettant de déterminer plus rapidement la température de combustion.

L'étude détaillée de cette évaluation par le calcul de la température de combustion n'a pas, dans le cas qui nous occupe, un intérêt capital. Elle a été traitée avec la plus grande autorité dans les ouvrages de M. Le Chatelier et de MM. Damour, Carnot et Rengade, auxquels nous reportons le lecteur.

On peut résumer la question en disant que la température d'un foyer dépend de la nature du combustible, de la forme du foyer, et surtout de l'allure, c'est-à-dire de la quantité de combustible brûlé par mètre carré de grille et par heure, et de la proportion d'air en excès introduit dans le foyer.

Nous reproduisons ci-dessous un tableau résumant les expériences faites par Ser sur un foyer extérieur et sur un foyer intérieur :



DE LA COMBUSTION

TYPE DE FOYER	POIDS D'AIR PAR KILOG de houille	POIDS DE HOUILLE BRULÉE PAR MÈTRE CARRÉ DE GRILLE ET PAR HEURE					
		25 <sup>k</sup>	50 <sup>k</sup>	75 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	200 <sup>k</sup>	400 <sup>k</sup>
		Foyer extérieur . . . . .	12	1.030	1.108	1.145	1.187
	15	998	1.069	1.103	1.142	1.209	1.273
	18	959	1.023	1.053	1.085	1.140	1.189
	24	865	908	925	942	966	880
Foyer intérieur . . . . .	12	989	1.069	1.144	1.147	1.224	1.299
	15	959	1.033	1.075	1.105	1.174	1.239
	18	925	990	1.028	1.054	1.112	1.162
	24	842	888	910	928	954	974

Si on tient compte que les allures de 200<sup>kg</sup> et 400<sup>kg</sup> ne sont pas d'un usage courant, on remarque que la température d'un foyer varie peu lorsqu'on augmente la consommation de houille par mètre carré de grille.

Pratiquement on peut adopter les valeurs ci-dessus ou bien établir expérimentalement la température cherchée.

*b) Détermination expérimentale : les pyromètres.* — La détermination expérimentale de la température d'un foyer donne naturellement une indication plus exacte.

Les appareils employés pour déterminer expérimentalement T s'appellent des pyromètres et se classent en deux catégories :

Les pyromètres à couple thermo-électrique ;

Les pyromètres à radiation.

**PYROMÈTRES A COUPLE THERMO-ÉLECTRIQUE.** — Ils sont basés sur la propriété que possèdent deux fils de métaux différents ou d'alliage réunis ou soudés de façon à former un circuit électrique fermé, de donner naissance à une force électromotrice, lorsqu'une des soudures est portée à une température différente de l'autre.

La force électromotrice ainsi produite est indiquée par un galvanomètre ou millivoltmètre inséré dans le circuit : elle est sensiblement proportionnelle à la différence de température des deux soudures et permet donc de connaître la température du foyer.

Pour des températures inférieures à 800, le couple est enfermé dans un tube de fer qui le protège et, pour des températures entre 800 et 1.300°, il est dans un tube réfractaire. L'aspect du couple est celui d'une canne avec un manche isolant qui porte les bornes servant à fixer les fils de connexion au galvanomètre.





---

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS PÈRE, R. ET P. DESLIS.

---