

# Etude sur le Chauffage direct

Rapport sur la recherche de l'économie  
de charbon dans le chauffage des chaudières  
et des fours à chauffage direct

—  
(Suite) (1)  
—

## CHAPITRE III

**Principes pour la détermination de la limite de combustibilité d'un charbon de grille dans les conditions mêmes de son emploi et résultats d'expériences effectuées en application de ces principes.**

Prenant en considération les déductions qui précèdent, la *Commission pour l'Economie des Combustibles* (C. E. C) s'est proposée de poursuivre la recherche d'une règle pratique pour la détermination de la limite de combustibilité des charbons de grille.

L'aspect nouveau de la question et le manque de résultats d'expériences suffisamment nombreux ne lui a toutefois pas permis de consacrer une méthode, la pratique de celle qu'elle expose ici devant peut-être entraîner une mise au point, sinon une modification importante, préalable à la standardisation.

---

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, tome XXIII, 2<sup>e</sup> liv., p. 699.

La C. E. C. de l'A. B. S. propose donc d'admettre, tout au moins provisoirement, les définitions et principes suivants :

### 13. DÉFINITIONS ET PRINCIPES.

1° DÉFINITIONS. — On appellera *dosage* de l'air comburant, le nombre de kilogrammes d'air sec admis au foyer par kilogramme de combustible sec.

On appellera *dosage théorique* de l'air comburant, souvent appelé aussi *dosage normal*, le nombre théorique de kilogrammes d'air sec contenant l'oxygène nécessaire à la combustion *complète* d'un kilogramme de combustible sec.

On appellera *dosage standard* de l'air comburant, le nombre minimum de kilogrammes d'air sec *pratiquement* nécessaire à la combustion *complète* d'un kilogramme de combustible sec.

2° PRINCIPES. — Il y a *manque d'air* au foyer, et partant combustion incomplète, lorsque l'épaisseur du feu sur la grille est trop forte; *dans ces conditions, le dosage de l'air comburant est inférieur au dosage standard.*

Il y a *excès nuisible d'air au foyer*, lorsque l'épaisseur du feu sur la grille est trop faible; *dans ces conditions, le dosage est supérieur au dosage standard.* Les conséquences de cet état sont : l'abaissement de la température initiale des gaz de la combustion, le rapprochement des températures d'échange et, finalement, la chute du rendement de l'opération thermique. Une quantité trop grande de chaleur sensible est perdue par la cheminée.

Il existe une épaisseur du feu pour laquelle la combustion est complète sans excès nuisible d'air; cette épaisseur correspond au dosage standard défini plus haut et prendra le nom d'*épaisseur standard* du feu. *Par le maintien de*

*cette épaisseur sur la grille, on réalisera la combustion la plus économique.*

*L'épaisseur standard du feu conduit à la limite de combustibilité de l'échantillon employé; cette épaisseur dépend, en conséquence, des conditions d'emploi de cet échantillon, et il convient de la déterminer expérimentalement pour chacune de ces conditions.*

### 14. EXPÉRIENCES EFFECTUÉES EN VUE DE LA VÉRIFICATION DES PRINCIPES POSÉS (Descriptions).

Les premières expériences ont été faites aux Usines de la Société d'*Electricité du Pays de Liège*, M. Grottendieck, Directeur de cette Société, ayant bien voulu pour la circonstance, mettre une chaudière à la disposition du Secrétaire-Rapporteur de la C. E. C.; M. Delsemme, Ingénieur de l'Usine collabora aux expériences en apportant des idées productives.

a) DESCRIPTION DE LA CHAUDIÈRE D'EXPÉRIENCE. — La chaudière du type Babcock et Wilcox est pourvue d'un surchauffeur et d'un Green; le foyer possède un développement de 7<sup>m</sup>², 12 de grille, et est muni de quatre portes: c'est un foyer dit chaud.

On y emploie le plus communément des fines lavées demi-grasses, à différentes allures de combustion, mais le tirage peut permettre de brûler, quand les circonstances climatériques sont favorables, 120 à 130 kilogrammes de charbon par heure et mètre carré de grille.

b) EQUIPEMENT DE LA CHAUDIÈRE POUR LES EXPÉRIENCES. — La sonde de prise de gaz venait d'un tube à gaz à 3/4 pouce de diamètre, et était raccordée d'une façon étanche, à une conduite extérieure en cuivre rouge de 6 millimètres de diamètre environ. Cette sonde s'ouvrait dans la veine gazeuse centrale du fourneau, en un point situé dans le plan axial de la chaudière, entre le foyer et le



surchauffeur : on écartait ainsi les troubles qui auraient pu être provoqués par les rentrées d'air à travers les maçonneries.

Les échantillons gazeux ont donc été prélevés à haute température ; ils ont été recueillis dans des gazomètres cylindriques en verre (flacons à tubulures) de 6 à 7 litres de capacité, et ont été analysés à la burette de Bunte particulièrement familière au chimiste chargé des analyses.

c) **MODE OPÉRATOIRE.** — Après quelques essais préliminaires qui ont montré certains écueils à éviter et qui seront signalés plus loin, le mode opératoire qui a donné des résultats satisfaisants a été le suivant :

1° Le feu a été maintenu en activité avec le charbon d'expérience pendant un certain temps avant le nettoyage de la grille, pour avoir la certitude qu'après le nettoyage le coke restant sur la grille ou « le fond de feu » provenait bien du charbon étudié. Les dispositions étaient prises pour que le « fond de feu » fut le plus réduit possible ;

2° Sur ce fond de feu parfaitement réglé et d'épaisseur constante soigneusement mesurée, on effectuait une charge dont le poids  $p$  kilogrammes était déterminé par la relation

$$p = S \sqrt{a.}$$

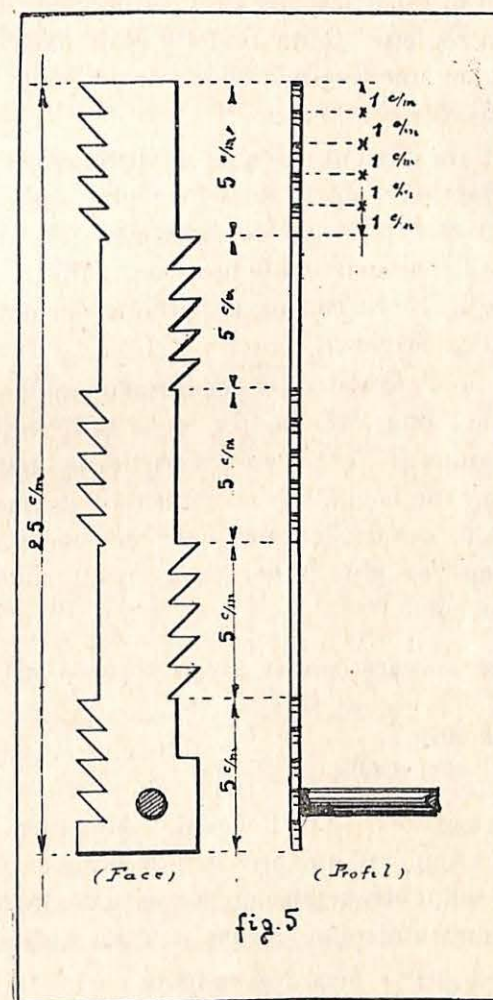
où  $S$  représentait en mètres carrés la surface de la grille, et  $a$  la vitesse de la combustion exprimée en kilogrammes de charbon par mètre carré de grille et par heure ;  $a$  ayant été déterminé au préalable, on connaissait le temps de la combustion de la charge ;

3° Pendant ce temps, on prélevait un échantillon des fumées à l'endroit désigné plus haut ; cet échantillon était analysé sans retard.

4° On faisait ensuite « monter » le fond de feu par échelon croissant de cinq à six centimètres environ et on renouvelait l'échantillonnage et l'analyse des fumées provenant

de la combustion d'une charge de  $p$  kilogrammes, semée sur les fonds de feu successifs.

Généralement quatre déterminations suffisaient entre les épaisseurs limites de 5 et 20 centimètres.



On veillait à la fermeture du registre pendant toutes les opérations de mesure au foyer, de même qu'au maintien de

l'allure de la combustion pendant la combustion des charges.

5° Pour la mesure de l'épaisseur des feux, on se servait d'une règle métallique dentée, à dents d'un centimètre d'écartement et réparties, par groupes de cinq, de part et d'autre de la règle. Cette règle était fixée perpendiculairement sur une tige métallique de 1<sup>m</sup>,50 de longueur environ. (Fig. 5);

6° Il était absolument essentiel de distinguer l'épaisseur apparente des feux, de l'épaisseur réelle, cette dernière seule devant être prise en considération. Il fallait donc défalquer de l'épaisseur totale mesurée, celle des cendres sur la grille, qui était parfois importante surtout à la fin d'un cycle d'expériences.

Pour obtenir l'épaisseur des cendres à un moment donné, on notait que l'amas des cendres sur la grille était proportionnel au temps de l'expérience à partir du nettoyage de la grille. De cette façon, on se contentait de mesurer les cendres à la fin des expériences pour faire porter la mesure sur une grandeur plus importante, ce qui diminuait les chances d'erreur.

Les expérimentateurs opérant sur la conduite du secrétaire-rapporteur de la C. E. C. furent :

M. Ghys, chimiste ;

M. Mariotte, chef chauffeur de l'usine.

d) REMARQUES. — 1° Le mode opératoire décrit ci-dessus ne fut appliqué qu'après que la méthode par « feux descendants » dut être rejetée en présence des inconvénients que l'on a rencontrés dans le cas des mâchefers fusibles.

La méthode par « feux descendants » consistait à commencer l'expérience avec des feux manifestement trop épais, les analyses des fumées, à ce moment, révélant la présence de l'oxyde de carbone. On laissait ensuite brûler le char-

bon sans effectuer de charges nouvelles, mais en prélevant successivement des échantillons de fumées au fur et à mesure que l'épaisseur des feux diminuait. On étudiait ainsi un état spécial du feu sans que jamais il y eut de charges fraîches, ce qui amenait parfois, même avec des feux minces, la production d'oxyde de carbone : cette méthode est donc à rejeter.

2° On avait envisagé d'employer dans les gazomètres de prises de gaz, de l'eau chargée d'acide carbonique pour éviter dans la plus grande mesure du possible, la dissolution de l'acide carbonique dans cette eau. Les grandes différences dans les teneurs en CO<sup>2</sup>, la variation des températures et des pressions des masses gazeuses, entraînent des erreurs dues à des dégagements spontanés de CO<sup>2</sup> provenant de l'eau des gazomètres, dans les échantillons de gaz à étudier. Il ne convient donc pas d'opérer ainsi et l'emploi de l'eau pure est indispensable, mais en agissant sans trop tarder de façon à éviter des dissolutions de CO<sup>2</sup>.

3° On court cependant ainsi contre un autre écueil qui provient de ce que les températures des échantillons gazeux sont plus élevées que celles de l'eau des appareils de captage et des dissolvants des appareils de mesure. Pour montrer l'énorme influence, même d'une faible différence des températures des échantillons gazeux et des dissolvants, on appellera V<sub>0</sub> le volume à zéro degré de l'échantillon de gaz. Cette masse mesurée à t degrés aura un volume V<sub>t</sub> = V<sub>0</sub> (1 + α t).

Ramenée subitement à t' degrés par les liqueurs absorbantes plus froides, ce volume deviendra V<sub>t'</sub> = V<sub>0</sub> (1 + α t'), sans qu'il y ait eu la moindre absorption du gaz. La différence de volume sera V<sub>0</sub> α (t - t') ou V<sub>0</sub>  $\frac{t - t'}{273}$ .

On voit qu'il suffit d'une différence de température de 2°,73 seulement pour que le volume subisse une contrac-

tion de 1 %, qui sera abusivement mesurée comme absorption, et qui affectera uniquement la teneur du premier constituant gazeux absorbé.

4° Il y a une absolue nécessité à veiller à un égalisation parfait du fond de feu dans les mesures successives pour ne pas être trompé sur la grandeur réelle de l'épaisseur de ce feu, qu'il est seulement possible de mesurer à la plaque morte avec un peu de sûreté.

Dans les grands foyers très chauds, il faut nécessairement deux chauffeurs excellents à la conduite des expériences ; il ne faut pas d'ailleurs à peu près dans ce travail.

5° Il faut veiller à l'emploi d'un charbon échantillon parfaitement homogène.

Cette dernière remarque qui découle d'expériences faites, explique d'une façon précise, la nécessité absolue d'utiliser partout, en marche industrielle, des lots de charbon parfaitement homogènes si l'on veut que le contrôle de la combustion soit effectif.

6° Il est nécessaire que pendant la détermination du dosage standard, le personnel des essais ne soit pas influencé par les contingences toujours troublantes du service de la chaufferie.

## 15. RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES.

a) AUX USINES D'ELECTRICITÉ DU PAYS DE LIÈGE.  
— Après quelques essais de mise au point, les expériences du 25 juin 1921 ont donné les résultats suivants, les variables indépendantes étant l'épaisseur du fond de feu d'une part, et le poids de la charge fraîche d'autre part. Les charges fraîches n'étaient pas crochétées, mais le fond de feu était bien égalisé avant chaque charge.

Nos des prises	Epaisseur moyenne des feux		Analyses				
	totale	cendres déduites	CO <sup>2</sup> observé	CO <sup>2</sup> corrigé	O <sup>2</sup>	CO	$\sigma$
A. — Charges totales de 100 kilogs							
I	6 cm.	5,7 cm.	12,38	12,06	6,34	—	92
III	12 cm.	11 cm.	15,22	13,87	3,96	0,61	91
V	20,5 cm.	18,5 cm.	15,40	13,70	1,31	5,65	92
B. — Charges totales de 200 kilogs							
II	6,7 cm.	6 cm.	12,95	12,33	6,07	—	92
IV	11,5 cm.	10 cm.	12,52	13,73	3,86	1,02	91
VI	19 cm.	17 cm.	15,13	14,89	0,21	5,50	92

Les équations de contrôle des analyses de gaz sont vérifiées, même en prenant les résultats de CO<sup>2</sup> observés, mais en admettant que  $\sigma = 5(a + d) + 3b$  oscille entre 91 et 92, on obtient pour CO<sup>2</sup> des résultats corrigés plus vraisemblables.

Cette expérience était concluante et démontrait que l'épaisseur standard du feu était voisine de 10 centimètres.

La charge de 200 kilogs est à rejeter, comme moins propice à la fumivorté ; celle de 100 kilogs est elle-même un peu forte.

Les expériences du 9 juillet 1921 ont été effectuées à allure de combustion un peu plus vive, et ont été conduites dans le but de rechercher l'influence du crochetage de la charge.

Les prises d'échantillon furent effectuées dans ces essais

- 1° sur un feu croché,
- 2° sur un feu non croché.

On déterminait le temps de combustion T minutes de la charge normale.

Pour obtenir un feu crocheté, on introduisait dans le foyer une charge de poids double ; après T minutes d'allumage et de combustion, le feu était crocheté à registre fermé ; cette opération faite, on prélevait l'échantillon pendant la combustion à registre ouvert pendant les T minutes suivantes.

L'examen de la combustion d'une charge non crochetée se faisait sur une charge de poids normal pendant les T minutes nécessaires pour la combustion.

Voici les résultats obtenus sur un poids total de charge de 70 kilogs :

Nos des prises	Epaisseur du fond de feu		Analyses				σ
	totale	cendres déduites	CO <sup>2</sup> observé	CO <sup>2</sup> corrigé	O <sup>2</sup>	CO	
<b>Charges crochetées.</b>							
I	6,0 cm.	5,5 cm.	14,63	10,30	8,10	—	92
III	11,0 cm.	10,0 cm.	15,83	14,00	4,20	—	91
V	16,5 cm.	15,0 cm.	19,74	14,10	3,90	—	90
<b>Charges non crochetées.</b>							
II	5,0 cm.	4,5 cm.	10,24	8,76	9,64	—	92
IV	9,5 cm.	8,5 cm.	16,60	11,54	6,66	—	91
VI	14,5 cm.	13,0 cm.	15,03	15,25	1,23	2,86	93

L'épaisseur standard du feu est donc moindre à charges non crochetées, qu'à charges crochetées, lorsque le charbon est un peu agglutinant.

D'ailleurs, les essais du 6 août 1921 effectués en présence de M. le baron Forgeur, président de la C. E. C. ont montré mieux encore l'influence de l'agglutination des charges, ces expériences ayant été conduites avec du charbon plus agglutinant que le charbon habituel.

Les résultats ont été les suivants, la charge totale de 70 kilogs n'étant pas crochetée.

Nos des prises	Epaisseur du fond de feu		Analyses				σ
	totale	cendres déduites	CO <sup>2</sup> observé	CO <sup>2</sup> corrigé	O <sup>2</sup>	CO	
I	4,0 cm.	4,0 cm.	9,33	7,40	11,00	—	92
II	9,0 cm.	8,5 cm.	13,17	14,05	3,12	1,71	91
III	15,0 cm.	14,0 cm.	15,94	14,54	2,00	3,10	92
IV	18,0 cm.	16,5 cm.	15,18	14,74	0,49	5,62	93

On a donc introduit dans les tableaux de résultats une colonne des teneurs en CO<sup>2</sup>, corrigées, pour éliminer les erreurs due aux contractions des masses gazeuses lors de leur premier contact avec les liqueurs absorbantes et aussi pour tenir compte de la condensation de la vapeur d'eau accompagnant les fumées, car il n'a pas toujours été possible d'obtenir la dessiccation complète des gaz.

On voudra bien remarquer combien rapide est la chute de l'épaisseur standard du feu lorsque le charbon est très agglutinant et que les charges ne sont pas crochetées ou le sont insuffisamment (1).

b) RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES FAITES LE 30 MAI 1922 AUX USINES D'ATHUS-GRIVEGNÉE, POUR LE RÉGLAGE DES FEUX, PRÉALABLE AU CONCOURS DE CHAUFFEURS ORGANISÉ PAR L'A. I. L. G. A L'OCCASION DU 75<sup>e</sup> ANNIVERSAIRE DE SA FONDATION.

*Description sommaire des chaudières.* — La chaudière du type Bailly-Mathot est pourvue d'un surchauffeur et d'un Green; le foyer possède un développement de 7<sup>m</sup>2,87 de

(1) L'allure de la combustion a vraisemblablement aussi été plus réduite dans ces essais.

grille et est muni de quatre portes. L'installation ne diffère pas essentiellement, étant donné l'objet de cette étude, de celle de la Société d'électricité du Pays de Liège.

*Mode opératoire.* — La manière d'opérer est celle décrite plus haut. Deux chauffeurs de l'usine ont conduit les feux sur les indications du Secrétaire-rapporteur de la C. E. C. de l'A. B. S., tandis que les analyses étaient effectuées en double, en premier lieu par M. Joassart, assistant de chimie analytique à l'Université de Liège, qui opérait au moyen de l'appareil d'Orsat, et, en second lieu, par M. Griffé, aide-assistant de chimie analytique de la même institution, et qui opérait au moyen de la burette de Bunte.

*Résultats d'expériences.* — Les fonds de feu successifs ont été chaque fois parfaitement réglés, mais les charges étudiées n'ont pas été crochétées pour répondre aux conditions habituelles du travail de la chauffe. En raison de l'allure de la combustion maintenue pendant l'essai, le poids total de la charge a été fixé à 75 kilogrammes. Le charbon employé était une fine lavée demi-grasse, de provenance indigène, tenant environ 14 % matières volatiles et 10 % cendres ; le degré d'humidité était d'environ 6 %.

Les mesures ont donné les résultats suivants :

Nos des prises	Epaisseur moyenne du fond de feu		Analyses des fumées									σ
	totale	cendres déduites	CO <sup>2</sup> Orsat	CO <sup>2</sup> Bunte	CO <sup>2</sup> Moyen	O <sup>2</sup> Orsat	O <sup>2</sup> Bunte	O <sup>2</sup> Moyen	CO Orsat	CO Bunte	CO Moyen	
I	5,0 cm.	5,0 cm.	2,20	2,25	2,20	17,30	17,75	17,50	0,10	0	0,05	98,50
II	11,5 cm.	11,0 cm.	7,30	6,70	7,00	11,80	10,50	11,50	0,30	0,30	0,30	93,40
III	16,0 cm.	13,5 cm.	13,50	12,95	13,30	4,50	4,85	4,70	0,20	0,10	0,15	90,45
IV	21,0 cm.	16,5 cm.	16,10	15,30	15,60	1,90	2,30	2,20	0,70	0,65	0,67	91,00

Les résultats moyens, interprétés, contrôlent d'une manière très satisfaisante les relations obligées dans un ordre parfait. On peut donc les adopter en admettant la remarque des chimistes opérateurs établissant que, d'une part (appareil d'Orsat), on a eu des contractions dues au refroidissement des échantillons gazeux et, d'autre part (burette de Bunte), des effets de dissolution des gaz dus au séjour plus long des échantillons dans les gazomètres à eau, préalablement à l'analyse. Les opérations à la burette de Bunte demandent effectivement plus de temps que celles à l'appareil d'Orsat.

En ce qui concerne l'oxyde de carbone, il y a lieu d'observer que les traces de ce gaz obtenues aux trois premières prises sont dues uniquement au manque de fumivorté et que ces traces peuvent être des gaz hydro-carbonés absorbés par le chlorure cuivreux acide. La 4<sup>e</sup> prise, au contraire, marque l'apparition de l'oxyde de carbone qui indique nettement que l'épaisseur standard du feu est comprise entre 13<sup>cm</sup>,5 et 16<sup>cm</sup>,5 et qu'on peut la fixer à 15 centimètres. Cette donnée a été adoptée pour le concours, pour une allure de combustion de 100 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure.

*Mise en graphique.* — Les résultats définitifs mis en graphique (fig. 6), par rapport à deux axes, celui des abscisses portant les épaisseurs du feu et celui des ordonnées la composition volumétrique des fumées, donnent des courbes qui possèdent un grand lien de parenté avec celles de la figure 4. Pour mieux faire ressortir ce lien de parenté, on a placé l'origine des axes à droite, les valeurs portées en abscisse dans les figures 4 et 6 étant inverses les unes des autres.

On aperçoit très bien le point de naissance de l'oxyde de carbone qu'en définitive il s'agit de déterminer seul. On peut dire qu'une méthode expérimentale ayant pour

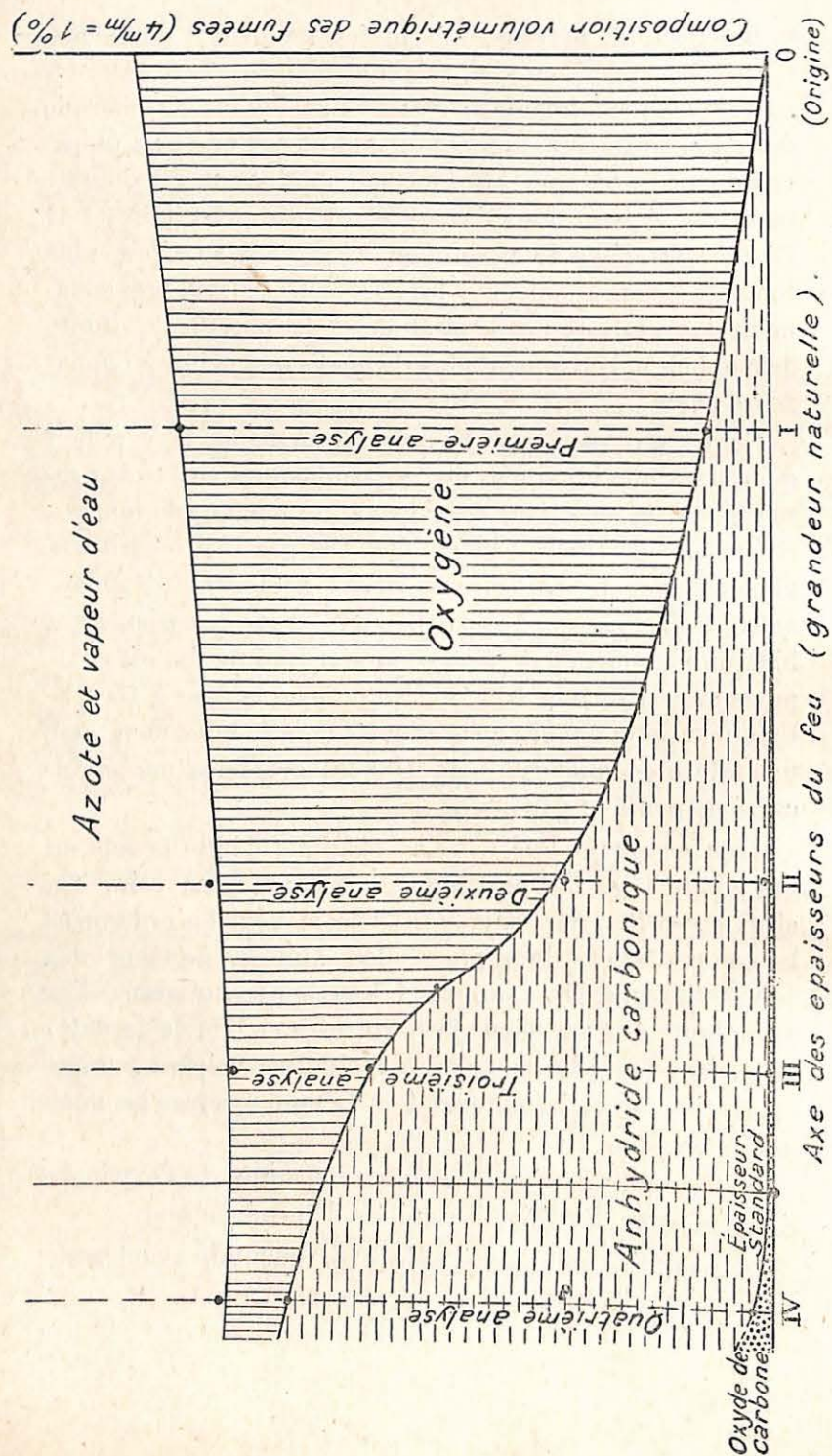


FIG. 6.

objet de signaler, fut-ce même qualitativement, l'apparition de l'oxyde de carbone, comporterait en elle toute la valeur industrielle nécessaire pour le réglage de l'épaisseur du feu.

Ces expériences poursuivies en vue de recherches bien définies montrent donc que les charbons de grille possèdent bien une limite de combustibilité en vertu de laquelle leur combustion s'arrête lorsque l'atmosphère comburante s'est appauvrie jusqu'à un certain point d'oxygène sans qu'il y ait manque absolu d'oxygène. Il en résulte que l'on ne pourra pas enrichir les fumées en acide carbonique jusqu'à s'approcher autant que l'on voudrait de la saturation théorique. En d'autres termes, les combustions complètes dans le chauffage direct, conduisent à des états d'équilibre chimique caractérisés par une teneur déterminée des fumées en acide carbonique, teneur que l'on ne pourra dépasser tant que les conditions d'emploi du combustible n'auront pas varié. Dans les cas les plus favorables, d'ailleurs, on n'obtiendra jamais la combustion théorique dans les foyers à grille; il semble bien qu'une teneur en  $\text{CO}^2$  de 14 % sans la présence d'oxyde de carbone, soit la limite de ce que l'on puisse atteindre.

#### 16. COEFFICIENT $L_c$ .

On exprimera la limite de combustibilité par un coefficient  $L_c$  égal au rapport des volumes, d'une part, de l'oxygène disparu (O. D.)<sub>c</sub>, et d'autre part, de l'oxygène total de l'air sec initial :

$$L_c = \frac{(\text{O. D.})_c}{20,944} = \frac{e - 3,775 d}{e}$$

$e$  et  $d$  représentant respectivement les volumes pour cent de l'azote et de l'oxygène dosés dans les produits gazeux de la combustion. On a, en effet, successivement :

$$L_c = \frac{(\text{O. L.})_c}{20,944} = \frac{20,944 - (\text{O. R.})_c}{20,944} = \frac{20,944 - 79,056 \frac{d}{e}}{20,944} = \frac{e - 3,775 d}{e}$$



Il doit être bien entendu que  $L_c$  exprime l'état d'équilibre des combustions au foyer au moment précis où la combustion est devenue *complète et sans excès nuisible d'air*.

Cela étant, il sera toujours permis d'exprimer un état d'équilibre quelconque, soit dans la phase des combustions incomplètes, soit dans celle des combustions avec excès nuisible d'air, par le rapport des volumes pour cent de l'oxygène disparu et de l'oxygène total de l'air sec initial.

Dans la phase des combustions incomplètes, on posera  $\lambda = \frac{O. D.}{20,944}$  avec l'unité pour limite supérieure et  $L_c$  pour limite inférieure.

Dans la phase des combustions avec excès nuisible d'air, on posera  $L = \frac{O. D.}{20,944}$  avec  $L_c$  pour limite supérieure et zéro pour limite inférieure.

On a vu qu'il fallait toujours un certain excès d'air pour obtenir la combustion complète dans les foyers à grille; ceci s'énoncera en exprimant que  $L_c$  est toujours plus petit que l'unité, mais la combustion sera d'autant plus économique que cette grandeur se rapprochera de l'unité.

#### 17. CAUSES FAVORISANT LE RELÈVEMENT DU COEFFICIENT $L_c$

1° La plus grande quantité de vapeurs combustibles introduite dans la flamme pendant l'unité de temps;

2° La plus grande température des flammes;

3° La plus grande température de l'air comburant.

La *première cause* sera produite :

a) par la plus grande vitesse de la combustion;

b) Par la plus grande volatilité du charbon, tant que le pouvoir cokéfiant de celui-ci ne conduit pas à un coke fondu et impénétrable à l'air. On en déduit tout de suite la nécessité du « crochetage » des feux lorsque le charbon

est quelque peu cokéfiant. Les cokes des charbons demi-gras *naturels* ou *artificiels*, sont les meilleurs. Les charbons demi-gras artificiels sont obtenus, non au charbonnage, mais à l'usine, par le mélange de charbons gras et de charbons maigres, généralement de provenances différentes;

c) Par la plus grande pureté du charbon.

(Influence de la teneur en cendres sur l'utilisation des charbons) (1).

On n'a aucune action sur la *seconde cause*, car la température théorique des flammes, toutes choses égales d'ailleurs, est sensiblement la même pour tous les charbons indigènes.

Enfin, la *troisième cause* sera produite :

a) Par la plus grande température initiale de l'air comburant;

b) Par le grand volume des chambres de combustion et la nature des parois du foyer. Les foyers tapissés de produits réfractaires sont propices aux hautes températures.

La C. E. C. de l'A. B. S. fait appel ici au concours de tous pour obtenir le plus grand nombre de résultats d'expériences dans le but d'en dresser une statistique raisonnée, portant sur tous les combustibles de grilles de qualité et de propreté différentes, employés aux installations les plus diverses et dans les conditions de traitement les plus variées.

Dans ce but, elle préconise l'intervention de l'ingénieur ou du chimiste dans le réglage de l'épaisseur des feux, lequel ne doit plus être laissé à la seule initiative du chauffeur; cette intervention peut se faire facilement en appliquant les règles qui font l'objet du chapitre qui suit.

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, tome XXII. (Année 1921) 1<sup>re</sup> livr., page 317.

### 18. RÈGLES A SUIVRE POUR LA DÉTERMINATION PRATIQUE DE L'ÉPAISSEUR STANDARD DES FEUX POUR UNE POSITION DONNÉE DU REGISTRE DANS LA GARGOUILLE.

1° Tenir le foyer en régime de marche avec le charbon d'expérience pendant une ou deux heures selon que la grille est plus au moins encrassée;

2° Procéder au nettoyage de la grille après n'avoir conservé que le coke incandescent indispensable pour le rallumage du feu après le nettoyage;

3° Etendre uniformément ce coke, formant « le fond du feu », sur la grille et mesurer l'épaisseur de ce fond de feu qui sera manifestement inférieure à l'épaisseur standard;

4° Effectuer la première charge, registre abaissé, et, après fermeture des portes du foyer, amener le registre dans la position convenable pour obtenir l'allure de combustion étudiée;

5° Procéder sur le champ à la première prise d'échantillon des fumées qui sera, sans tarder, analysé par le chimiste. Cet échantillon sera prélevé pendant la combustion d'une charge, portes du foyer fermées;

6° Ensuite, le chauffeur fera « monter son feu » en veillant au bon allumage du charbon frais et en se servant au besoin du ringard pour vaincre les effets de l'agglutination qui sont très importants dans cette opération d'allumage avec certains charbons.

7° Au fur et à mesure que l'épaisseur grandit, le technicien chargé du réglage poursuivra ses investigations en faisant procéder, après la combustion d'une charge quelconque au crochetage, à l'égalisation et au mesurage de l'épaisseur du feu. Lorsque le chargement d'une charge fraîche sera effectué sur ce nouveau fond de feu plus épais, le chimiste prélèvera un échantillon des fumées qu'il analysera sur le champ comme au début. On veillera à la constance du poids des charges;

8° On continuera à procéder de la sorte jusqu'au moment où les analyses révéleront l'apparition de l'oxyde de carbone.

On ne perdra pas de vue que dans l'emploi de l'appareil d'Orsat et de la burette de Bunte, la liqueur absorbante de l'oxyde de carbone (chlorure cuivreux acide) retient également certains gaz hydrocarbonés et qu'un manque de fumivorité momentanée, toujours à craindre, peut donner de 0,1 à 0,3 % de gaz combustibles, sans qu'il y ait production en régime, d'oxyde de carbone.

La présence caractérisée de l'oxyde de carbone ne sera nettement indiquée que lorsque les appareils de mesure renseigneront une teneur de 0,5 % au moins.

9° Dès que l'apparition permanente de l'oxyde de carbone sera constatée, on aura légèrement dépassé l'épaisseur standard du fond de feu qui pourra alors être déterminée exactement par le rapprochement de tous les résultats d'analyses.

### 19. TRAVAIL DU CHAUFFEUR.

a) PRÉPARATION DU CHARBON A PIED D'ŒUVRE. — Le charbon sera préparé pour le chargement des feux de telle sorte:

1° que les morceaux trop volumineux soient concassés jusqu'à ce que leurs plus fortes dimensions ne dépassent pas 4 à 5 centimètres pour favoriser le bon contact de l'air comburant.

2° que les fines particules soient fixées dans la masse pour ne pas être entraînées dans les carnaux par la force vive du courant d'air. A cet effet, le chauffeur mouillera les charbons poussiéreux; une proportion de 5 à 8 p. c. d'eau suffira le plus souvent, tout excès d'eau étant nuisible.

Les charbons lavés de la catégorie des fines 0 à 10 millimètres ou des grains et noisettes de récente préparation

ont conservé un degré d'humidité suffisant et ne doivent pas être mouillés.

b) TRAVAIL DES CHARGES. — D'une manière générale, la C. E. C. de l'A. B. S. renvoie pour ce chapitre au Catéchisme des chauffeurs publié par l'A. I. Lg. (1).

Dans le cas plus particulier des instructions à donner aux chauffeurs pour le réglage des chaufferies, il conviendra de retenir :

1° que l'épaisseur du feu étant déterminée, on renseignera approximativement le chauffeur sur le poids de chaque charge et le temps de sa combustion, *pour une position déterminée du registre.*

L'allure de la combustion est fonction de la position du registre, de la dépression au carneau général et de l'état atmosphérique de l'air. C'est pour ces raisons que les indications données aux chauffeurs ne peuvent être qu'approximatives et qu'à une ouverture déterminée du registre ne correspond pas nécessairement une allure de combustion invariable. Malgré cela, *la position du registre est le facteur principal déterminant l'allure de la combustion* et il y a lieu de s'y rapporter sous la réserve toutefois de corriger cette position pendant le réglage, pour maintenir l'allure.

L'épaisseur standard du feu varie avec l'allure et il sera aisé d'établir cette variation par deux ou trois réglages sous des allures de marche différentes.

Il paraît superflu de signaler qu'il sera toujours possible dans une chaufferie de maintenir la chaudière d'essai en allure de marche constante pendant les expériences, les autres chaudières suivant les fluctuations de la demande. Là où il n'y a qu'un générateur, on sera contraint de s'imposer l'allure constante pendant le temps de la recherche.

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, Tome XXII (année 1921), 3<sup>e</sup> livr., page 957.

Quant à l'estimation du poids de la charge,  $p$  kgs, il faut noter qu'il doit nécessairement exister une relation entre ce poids et l'allure de la combustion afin de rendre le travail manuel possible d'une façon soutenue.

Lorsque l'allure croît, on pourrait, sans modifier la fréquence des charges, en augmenter le poids dans la mesure de l'accroissement de l'allure, mais alors on s'éloigne de la fumivorité et l'on risque de provoquer de grandes pertes par le dégagement d'hydrocarbures non brûlés.

Au contraire, si l'on ne modifie pas le poids des charges, on doit en multiplier le nombre, et la fréquence doit augmenter dans la mesure de l'accroissement de l'allure. Dans ces conditions, l'on risque de rendre le travail des chauffeurs insoutenable, par la multiplicité des manœuvres.

Tenant compte de ce qui précède, il est donc logique d'admettre que l'accroissement de l'allure doit être obtenu par l'augmentation simultanée du poids des charges et de leur fréquence, et l'on posera :

$$p = KS \sqrt{a}$$

où  $p$  représente le poids de la charge,  $a$ , la combustion par heure et par mètre carré de grille ;  $S$ , la surface de la grille en mètres carrés, et  $K$  un coefficient égal à 0,9 pour les charbons demi-gras pas trop agglutinants et de 10 à 12 % de cendres. Ce coefficient  $K$  sera augmenté lorsque les charbons seront plus cendreux, et diminué dans les cas d'emploi de charbons de qualité quart-grasse, mais peu cendreux.

2° On attirera l'attention du chauffeur sur les effets de l'encrassement de la grille qui devront être combattus par l'ouverture progressive de la gargouille du registre, jusqu'au moment du nettoyage des feux ; on lui signalera que la couche des cendres qui se déposent petit à petit sur la

grille, ne doit pas intervenir dans la mesure de l'épaisseur proprement dite du feu.

Jusqu'au nettoyage de la grille, l'épaisseur apparente des feux ira donc en augmentant.

3° Le chauffeur devra se conformer d'une façon formelle à l'obligation de semer ses charges sur un feu toujours bien régalé, de façon à éviter les amas de charbon, à côté de trous, dans le feu.

Il se servira au besoin du rable, appelé aussi razette, ou du crochet retourné, les pointes en l'air, si le trouage du feu avait une tendance à se produire.

c) CONCLUSIONS. — Il convient de terminer ce paragraphe qui renferme les données objectives dont on a poursuivi l'exposé, en répondant anticipativement aux objections qui pourraient venir, *a priori*, à l'esprit des techniciens conducteurs de chaufferies, objections qui sont de l'ordre suivant :

1° Le chauffeur est-il à même de tenir sur la grille une épaisseur de feu rigoureusement déterminée?

2° Le chauffeur pourra-t-il faire varier cette épaisseur en même temps que l'allure de la combustion, de façon à toujours obtenir sur la grille l'épaisseur standard propre à chaque allure?

La réponse affirmative ne peut pas faire de doute dès que l'on admet que le chauffeur possède un peu d'habileté professionnelle. Le mauvais chauffage ne provient pas du fait que le chauffeur ne sait pas scruter son feu, il est dû, pour la plus grande part, aux idées préconçues de l'ouvrier sur la façon d'entretenir ce feu.

Dès que le chauffeur sera éduqué dans le sens voulu par des essais répétés, quelques fois seulement, mais qu'il aura suivis dans les détails, il acquerra la faculté d'appréciation des épaisseurs réelles de feu, qu'il pourra d'ailleurs toujours

vérifier par l'usage de la règle métallique graduée qui doit faire partie de son outillage.

Il sera très aisé également de lui faire saisir la loi de la variation de l'épaisseur du feu avec l'ouverture du registre, ou mieux, de la vitesse de la combustion. D'une manière presque absolue, les chauffeurs perçoivent très rapidement les variations d'allure de la combustion, et, après rééducation au moyen d'expériences en vue du but poursuivi, ils acquerront sans délai ce sens professionnel spécial qui leur permettra de gagner sans hésitation l'étiage du feu très voisin de celui donnant la plus grande économie.

Ce qui, jusqu'ici, manque au chauffeur, n'est autre chose qu'une donnée précise, un moyen de mesure ou de contrôle rapidement effectué. Où trouvera-t-on l'ouvrier réfractaire à la compréhension d'une observation faite comme ceci : « le feu est trop mince de tant de centimètres » ou « le feu est trop épais de tant de centimètres parce que la gargouille du registre n'est ouverte que de telle partie de l'ouverture totale » ?

On peut affirmer que quelques journées de collaboration du technicien et du chauffeur éclairciront d'une façon définitive, pour le premier, le moyen de contrôler sûrement la marche de la chaufferie et, pour le second, le moyen de la conduire économiquement.

#### CHAPITRE IV.

### Equipement des chaufferies pour l'analyse chimique des fumées.

#### 20. GÉNÉRALITÉS.

On a vu qu'il suffirait de pouvoir déterminer le point de naissance de l'oxyde de carbone dans les fumées pour résoudre d'une façon simple le problème de la recherche de l'épaisseur standard des feux.

Un procédé de détermination qualitative suffisamment sensible et rapide répondrait avantageusement aux nécessités industrielles. Les méthodes actuellement connues sont généralement d'application, au laboratoire seulement, et non à la chaufferie, en raison de leur délicatesse ou du temps qu'elles nécessitent.

En attendant l'apparition d'une méthode industrielle satisfaisante, on aura recours à l'analyse volumétrique des fumées, qui sera d'ailleurs toujours d'application lorsque l'on devra établir le bilan calorifique des opérations de chauffage.

L'analyse industrielle des gaz est assez abondamment décrite dans les manuels spéciaux, tel entre autres, celui de Winkler. Cette question pourra donc être rapidement exposée en faisant ressortir seulement certaines dispositions pratiques.

L'analyse des fumées s'effectue par le mesurage des volumes avant et après absorption des divers constituants du mélange gazeux ; les résultats sont donnés en volumes pour cent. Les volumes se déterminent par mesurage direct dans des appareils mesureurs remplis préalablement d'eau qu'on évacue pour y introduire le gaz.

Les principaux gaz à analyser sont l'*acide carbonique*, l'*oxyde de carbone*, les *hydrocarbures* et l'*oxygène* : on obtient l'*azote* par différence, la *vapeur d'eau* ayant été éliminée au préalable par dessiccation.

Les gaz à analyser sont plus ou moins solubles dans l'eau ; on peut négliger cette solubilité, sauf cependant pour l'acide carbonique dont la solubilité est toujours une source d'erreurs, si l'on ne prend certaines précautions.

Le tableau ci-contre indique les coefficients d'absorption ou volumes de gaz à 760 millimètres de pression, absorbés par volume d'eau (Annuaire du Bureau des Longitudes 1912). Il montre que, s'il est permis de négliger la solu-

bilité des gaz parfaits, il n'en est pas de même de l'acide carbonique.

Cependant les auteurs sont très divisés au sujet de la préparation des eaux de captage des échantillons gazeux et, pour ne citer que Winkler, il déconseille l'emploi d'eau surmontée d'une couche d'huile ou d'eau saline ou acidulée d'acide chlorhydrique comme d'autres le préconisent.

Gaz	Températures en degrés C.	Coefficient d'absorption $\alpha$ , en volumes
Acide carbonique. . . . .	0	1.713
	15	1.019
	30	0.665
Oxyde de carbone . . . . .	0	0.035
	15	0.025
	30	0.020
Oxygène . . . . .	0	0.049
	15	0.034
	30	0.026
Azote . . . . .	0	0.023
	15	0.017
	30	0.013

Un moyen qui paraît indiqué consisterait à saturer d'acide carbonique, ou à peu près, les eaux des appareils de captage et de mesure. Cette opération est tellement délicate, en raison du rôle de la température et de la pression, qu'il convient de n'en pas conseiller l'usage. Il suffira, par exemple, de signaler le cas où la saturation de l'eau se serait faite à la température de 20 degrés et sous dépression de 50 centimètres d'eau, tandis que le captage des échantillons s'effectuerait dans la suite, au moyen de cette eau, à la température de 30 degrés et sous dépression de 70 centimètres d'eau, pour montrer qu'il se produirait un dégagement de l'acide carbonique dissous, dans les échantillons prélevés.

Il ne paraît donc pas qu'il faille préconiser semblable procédé, tandis qu'au contraire on peut conseiller l'emploi d'eau pure, en même temps que des *manipulations et des opérations rapides* pour réduire le plus possible les inconvénients de la dissolution de l'acide carbonique des échantillons gazeux dans les eaux des appareils de captage et de mesure.

#### 21. PRISES D'ÉCHANTILLONS.

Elles se font au moyen de sondes, de tuyaux d'aspiration et d'aspirateurs.

a) **SONDES.** — Les sondes seront constituées au moyen de tuyaux à gaz d'un demi-pouce de diamètre intérieur, et plongeront dans la veine principale des fumées. Elles pourront être établies à demeure dans le fourneau, sauf lorsque la prise devra se faire immédiatement au-dessus du feu ; ce cas est plutôt rare et quand il se présentera, on se servira d'une sonde mobile introduite dans le foyer pendant le temps de la prise d'échantillon.

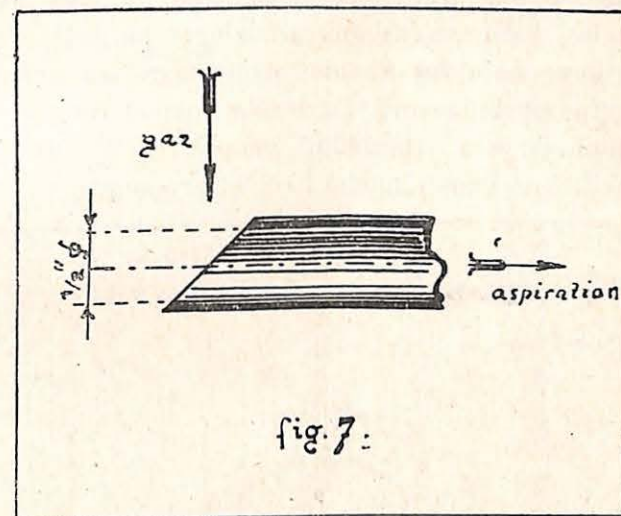
Pour la détermination du dosage standard, il conviendra de faire la prise d'échantillon dans la veine fluide principale à une certaine distance du foyer, pour que les fumées soient déjà brassées et présentent une composition moyenne; il ne faut pas trop s'en éloigner, cependant, pour éviter l'influence des rentrées d'air par les maçonneries.

Dans les chaudières multitubulaires, où le fourneau est tout extérieur à la chaudière, il convient de placer l'extrémité de la sonde dans le plan axial de la chaudière, à l'aplomb du foyer, et au-dessus de la partie antérieure du faisceau tubulaire : le brassage des fumées est assuré en ce point où les rentrées d'air n'ont pu encore être importantes.

Dans les chaudières à foyers intérieurs, on placera avantagement la sonde à l'issue des tubes-foyers, à l'arrière de la chaudière.

Pour l'établissement des bilans calorifiques, des sondes seront placées avant et après surchauffeur, à l'amont du registre pour écarter les inconvénients de l'air pénétrant dans le fourneau par les glissières, avant et après Green, ou autres réchauffeurs, s'ils existent.

L'extrémité plongeante d'une sonde sera coupée en biseau et son ouverture dirigée à contre courant. (Fig. 7).



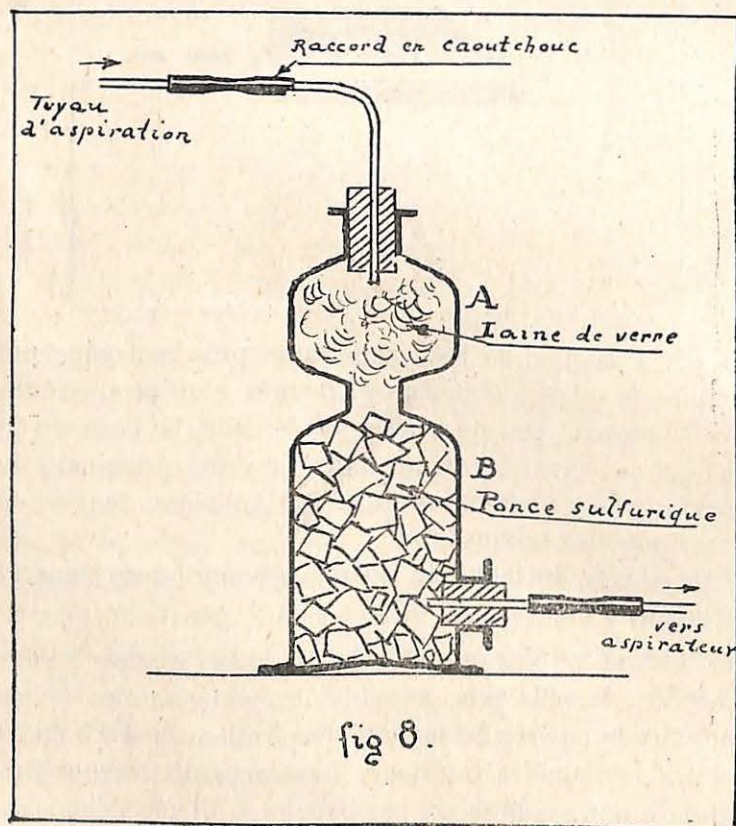
Il n'y a pas lieu de rechercher une prise moyenne par l'emploi de tubes à fentes ou à bouches multiples, ces dispositifs donnant peu de chose, tandis que la pose de la sonde, à ouverture unique, dans la veine principale du courant gazeux donne toute sécurité au point de vue de l'exactitude des échantillons.

Les sondes doivent être soigneusement lutées dans la maçonnerie.

b) **TUYAUX D'ASPIRATIONS.** — Les sondes seront raccordées le plus près possible des maçonneries à des conduites en cuivre, ou tuyaux d'aspiration, de 4 à 5 millimètres de diamètre intérieur. Les raccords devront être étanches, par soudures ou par bouchons filetés soigneuse-

ment conditionnés. Les tubes en cuivre se prêtent à une grande souplesse d'installation, mais il ne faut pas perdre de vue qu'il convient d'écourter leur développement pour réduire le volume de la conduite, en prévision de la purge et pour favoriser le bon fonctionnement des aspirateurs. Il ne faudra pas négliger de les protéger par des gaines en bois, là surtout où l'on pourrait craindre de les écrasser.

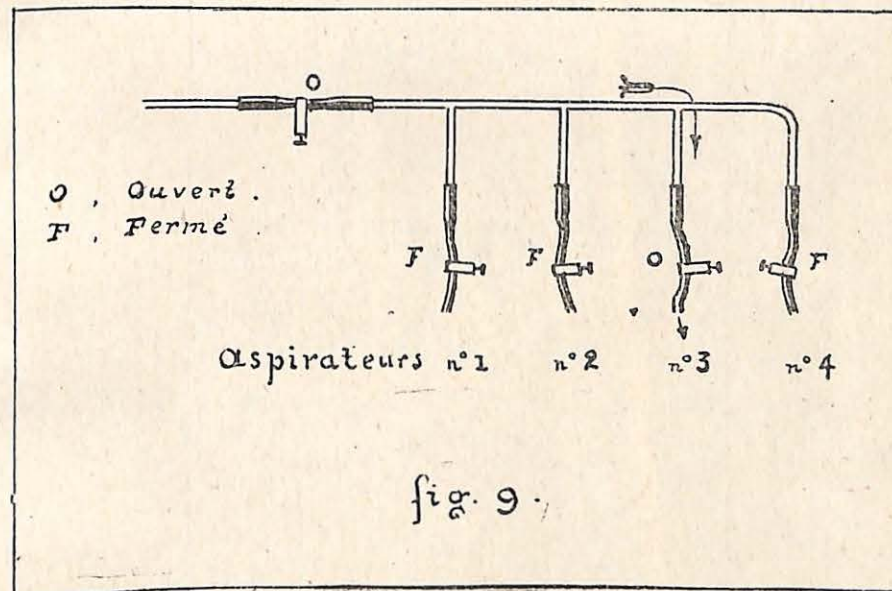
Ces tuyaux d'aspiration reçoivent, avec la plus grande commodité, les raccords en caoutchouc permettant leur liaison aux chambres à suie, excicateurs ou appareils d'aspiration et de mesure. Le développement des raccords en caoutchouc sera aussi réduit que possible à cause de la perméabilité du caoutchouc à l'acide carbonique.



*Excicateur.* — On se servira d'un flacon à réservoir double (fig. 8), le premier A, contenant de la laine de verre pour retenir les suies et le second B, de la ponce sulfurique pour retenir la vapeur d'eau des fumées.

Le chlorure calcique est peu recommandable comme déshydratant parce qu'il retient également l'acide carbonique.

Au sortir de l'excicateur, le tuyau d'aspiration est divisé en plusieurs branches, trois ou quatre, en relation avec les gazomètres aspirateurs. Cette disposition est réalisée par le moyen d'un tube spécial en cuivre ou en verre sur lequel sont soudés plusieurs raccords (fig. 9).

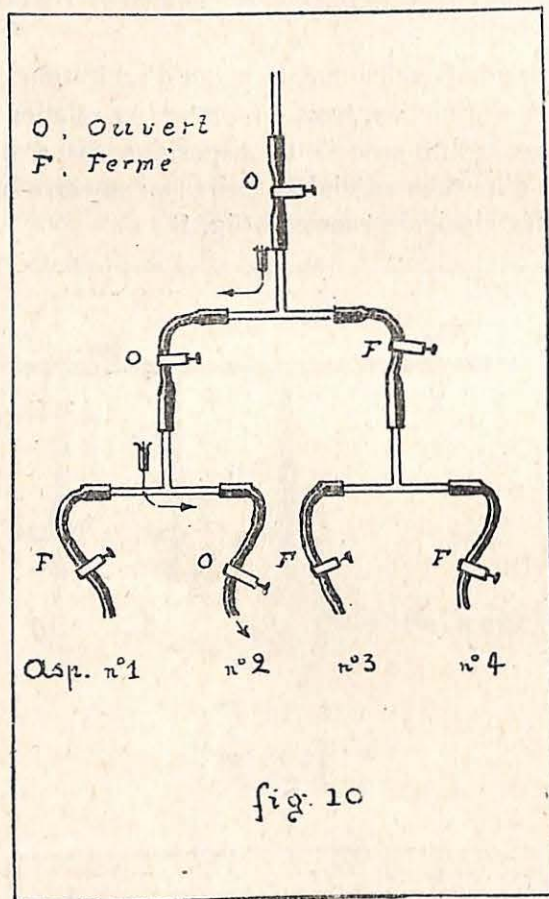


On peut encore se servir de tubes té en verre, reliés par des raccords en caoutchouc pourvus eux-mêmes de pinces de Mohr à vis (fig. 10).

Le jeu de l'ouverture ou de la fermeture des pinces permet de diriger le courant gazeux comme il convient.

La disposition de la figure 9 est à conseiller en raison du nombre réduit de raccords en caoutchouc et par conséquent des moindres risques de rentrées d'air.

On veillera constamment à l'étanchéité absolue de toutes les conduites d'aspiration.



c) APPAREILS D'ASPIRATION. — Ces appareils sont disposés pour permettre l'aspiration dans un réservoir, de l'échantillon gazeux, par l'effet d'une dépression manométrique intermittente ou permanente.

La dépression est intermittente dans le cas de la pompe aspirante et foulante en caoutchouc ; elle est permanente dans les flacons d'aspiration ou dans les gazomètres de Ridder.

La pompe aspirante et foulante en caoutchouc n'est pas recommandable en raison des précautions spéciales à employer pour obtenir un échantillon non mélangé à l'air primitivement contenu dans la poche en caoutchouc ; d'autre part le caoutchouc est perméable à l'acide carbonique.

Les flacons d'aspiration sont les burettes à gaz des appareils d'analyse mêmes, des flacons de Mariotte et des flacons doubles d'aspiration.

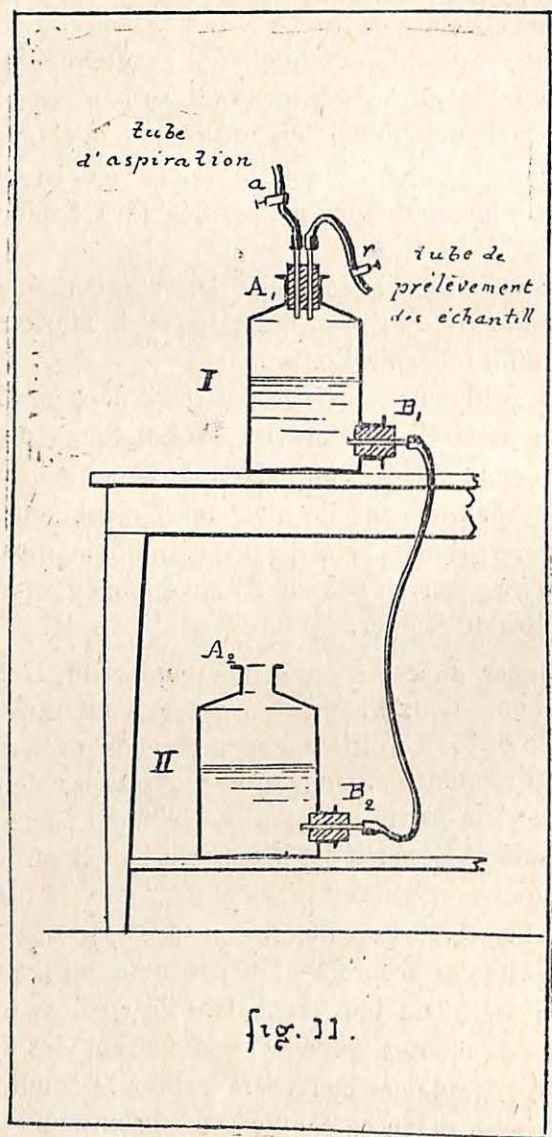
Les échantillons prélevés directement dans les burettes à gaz des appareils de mesure sont toujours de qualité douteuse ; ceux prélevés au moyen de flacons de Mariotte sont lavés dans l'eau des flacons et abandonnent dans cette eau une grande partie d'acide carbonique. Ces moyens sont donc à rejeter. Il reste le flacon double d'aspiration et le gazomètre de Ridder.

1° **Le flacon double d'aspiration**, comprend, comme son nom l'indique, deux flacons en verre à tubulures, d'une contenance de 5 à 7 litres chacun et, de préférence, en tous points semblables. Chaque flacon portera deux tubulures, l'une à la partie supérieure à la façon d'un goulot, l'autre greffée à la partie inférieure du flacon sur la paroi cylindrique.

La tubulure A<sub>1</sub> du premier flacon (fig. 11) remplissant le rôle de gazomètre proprement dit, recevra un bouchon en caoutchouc percé de deux trous dans lesquels seront logés deux bouts de tube en verre du type courant des appareils de chimie. L'un de ces bouts sera relié à la conduite d'aspiration par un tuyau en caoutchouc portant une pince de Mohr à vis ; l'autre recevra un bout de tuyau en caout-



chouc également pourvu d'une pince de Mohr et servira pour le prélèvement des échantillons.



Les tubulures B, des deux flacons seront munies chacune d'un bouchon en caoutchouc percé d'un trou pour le passage de bouts de tubes en verre; un tuyau en caoutchouc de longueur convenable (70 à 80 centimètres) reliera les deux flacons par les tubulures B ainsi préparées. La tubulure supérieure  $A_2$  du second flacon restera libre. On installera le tout sur une table munie d'une étagère inférieure.

Les deux flacons étant placés sur le même plan horizontal, ils seront tous deux remplis d'eau jusqu'à mi-distance des tubulures A et B.

#### Mode opératoire pour le prélèvement.

$\alpha$ ) Surélever le flacon II par rapport au flacon I dont la pince d'aspiration  $a$  aura été fermée tandis que celle de refoulement  $r$  sera ouverte: l'eau du flacon II envahira le flacon I en expulsant l'air ou le gaz contenu.

$\beta$ ) Lorsque l'expulsion sera complète, ce qui s'apercevra dès qu'un peu d'eau sortira par le tuyau de refoulement, on fermera  $r$ . Le flacon I sera ainsi préparé pour recevoir l'échantillon, et l'on pourra sans crainte poser le flacon II sur l'étagère inférieure si toutes les fermetures sont étanches.

$\gamma$ ) Il suffira dès lors d'ouvrir la pince  $a$  du tuyau d'aspiration pour amener l'échantillon gazeux dans le flacon I. La plus ou moins grande ouverture de la pince réglera le débit.

#### Remarques.

I. Il y aura lieu, aussitôt que le moment de la prise sera venu, de purger complètement toute la conduite d'aspiration, en procédant comme il est dit en  $\alpha$ . On connaîtra donc le volume de cette conduite d'aspiration afin de rejeter dans l'atmosphère la première partie de la prise au moins égale à ce volume.

II. On aura eu soin, au préalable, de s'assurer de l'étanchéité des conduites et appareils d'aspiration.

III. On purgera les conduites à la même vitesse d'aspiration que le prélèvement proprement dit.

### 2° Gazomètres de Ridder.

Lorsque les analyses sont effectuées dans un local spécial établi à proximité du fourneau, il convient de se servir, comme aspirateurs, de gazomètres métalliques de Ridder construits sur le principe indiqué par la figure 12.

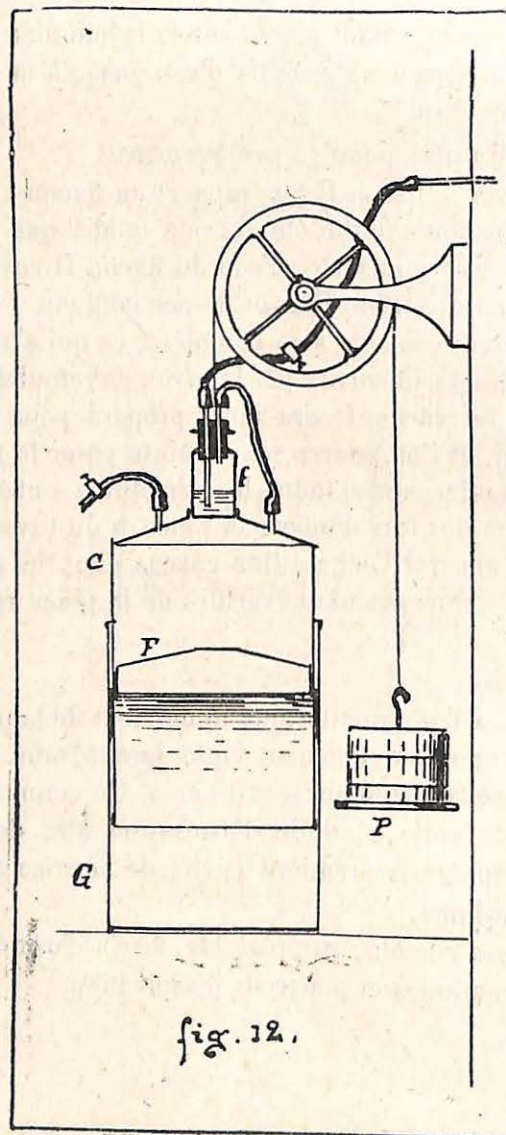


fig. 12.

La cloche C plonge dans un gazomètre G rempli d'eau. Cette cloche est soulevée à l'intervention d'un câble s'enroulant sur une poulie par un contrepoids P de masse variable. Le gaz est appelé dans la cloche par la dépression qui y règne, en traversant un flacon de contrôle *f* contenant un peu d'eau et qui permet plus facilement, par l'examen de la vitesse des bulles, de régler la marche de l'appareil au moyen de pinces à vis.

La cloche porte deux tubulures, l'une pour l'amenée du gaz quand l'appareil est en charge; l'autre pour la prise des échantillons, après que l'on a fermé la conduite d'aspiration et supprimé l'action du contrepoids. L'excès de poids de la cloche suffit alors pour créer dans le gazomètre une légère dépression, favorable au prélèvement des échantillons.

On a prévu un flotteur métallique F, à l'intérieur de la cloche, pour diminuer la surface de contact du gaz et de l'eau et réduire ainsi les dissolutions de  $\text{CO}_2$  qui sont celles le plus à craindre.

### 22. MESURAGE DES GAZ ET BURETTES A GAZ.

On mesure le volume des gaz dans les conditions de l'expérience, c'est-à-dire à la température régnante et sous la pression atmosphérique existante.

L'eau étant le liquide intercepteur des appareils, la prise d'échantillon se charge d'humidité après que la dessiccation même a été faite, ou conserve son humidité si l'on a pas effectué cette opération.

Les circonstances de mesurage peuvent donc varier dans un court espace de temps, mais dans les analyses industrielles, on ne tient pas compte de ces variations qui sont généralement faibles.

Tous les appareils de mesure comprennent comme partie principale une burette à gaz en verre de 100 centimètres

cubes, divisée en 1/10 de c. c. sur toute sa longueur, fermée en haut et en bas par des robinets. Il est bon que la burette soit entourée d'une chemise d'eau pour soustraire l'échantillon gazeux aux trop fortes variations de température, ou pour lui communiquer la température de l'appareil de mesure, qui est très voisine de celle des liqueurs absorbantes.

On a signalé en effet les contractions ou dilatations importantes auxquelles le gaz est parfois soumis quand il est mis en contact avec des réactifs qui possèdent une température différente de la sienne. C'est là le plus grave inconvénient de la gazométrie industrielle.

La burette à gaz est en communication avec un flacon de niveau pour rendre possible le déplacement de l'échantillon sous l'action d'un piston liquide. En se déplaçant dans la burette, le liquide adhère toujours plus ou moins aux parois et il convient d'attendre un égouttage suffisant avant de faire les lectures : deux minutes suffisent généralement pour éviter les grandes erreurs.

Les lectures se feront tangentielllement au ménisque concave en se servant (fig. 13) d'un papier à deux comparti-

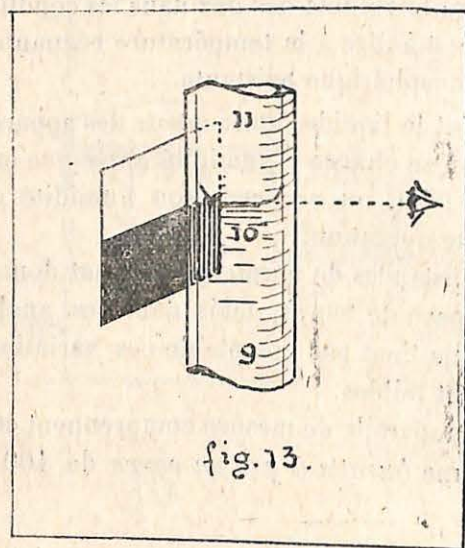


fig. 13.

ments de couleur différente et séparés par un trait droit sur lequel on projette le ménisque.

### 23. APPAREILS DE MESURE.

On se servira soit de la burette de Bunte, soit de l'appareil d'Orsat dont on trouvera la description et le mode d'emploi dans tous les traités sur la matière. L'appareil d'Orsat est le plus maniable et le plus rapide, mais la burette de Bunte est peut-être plus certaine.

On ne perdra pas de vue l'ordre dans lequel les diverses absorptions seront faites :

- 1° celle de l'acide carbonique ;
- 2° ensuite de l'oxygène ;
- 3° enfin de l'oxyde de carbone,

car la solution pyrogallique est très alcaline et retiendrait l'acide carbonique en même temps que l'oxygène, tandis que la solution de chlorure cuivreux absorbe en partie l'oxygène.

### 24. PRÉPARATION DES LIQUEURS ABSORBANTES.

1° Pour l'acide carbonique, on emploiera une solution de potasse caustique à 25 degrés Baumé, ou à densité 1,20.

On la préparera en dissolvant 28,5 grammes de potasse caustique en bâtons, par portions de 100 centimètres cubes d'eau distillée.

2° Pour l'oxygène, on emploiera la même solution que ci-dessus à laquelle on ajoutera dix à douze centigrammes d'acide pyrogallique par centimètre cube de solution.

3° Pour l'oxyde de carbone, on emploiera une solution saturée de chlorure cuivreux dans l'acide chlorhydrique à densité 1,10 ou à 13 degrés Baumé.

Il sera nécessaire de conserver la solution préparée dans un flacon contenant des tournures de cuivre, pour combat-

tre la réaction cuivrique qui serait très active sans cette précaution.

#### Renouvellement des réactifs.

Dès que les absorptions deviennent lentes, il faut renouveler les réactifs.

La solution de potasse caustique absorbe un volume appréciable d'acide carbonique, mais elle sera renouvelée dès que les absorptions deviendront plus lentes, ce que l'on constatera dès que deux lectures successives différeront après des brassages plus nombreux que d'habitude.

La solution de pyrogallate de potasse est rapidement saturée d'oxygène ; on le vérifiera en faisant une analyse de l'air atmosphérique.

La solution de chlorure cuivreux acide est de beaucoup celle à plus faible rendement et il y a lieu de prendre les plus grandes précautions pour sa vérification. Pour cela, on se servira de gaz d'éclairage si l'on dispose de ce gaz, ou bien l'on se placera dans les conditions de production évidente d'oxyde de carbone au foyer pour effectuer cette vérification.

#### Remarques.

On ne perdra pas de vue que la méthode de détermination de CO par la solution de chlorure cuivreux est également spécifique de certains gaz hydrocarbonés qui se rencontrent dans les fumées. Le seul procédé réellement spécifique pour la recherche de l'oxyde de carbone, est celui par l'hémoglobine.

Il résulte de cette remarque que l'on pourra rencontrer dans des fumées contenant un excès nuisible d'air, des traces de gaz combustibles provenant du manque de fumi- vorité au foyer, notamment au début de la combustion d'une charge.

#### 25. RÉACTION SPECTROSCOPIQUE DE L'HÉMOGLOBINE OXYCARBONÉE.

Le caractère de cette réaction est exposé d'une façon complète par M. H. Le Chatelier dans ses « Leçons sur le Carbone », Paris 1908.

L'hémoglobine, matière colorante rouge du sang, se combine avec l'oxygène en donnant l'oxyhémoglobine et avec l'oxyde de carbone, en donnant l'hémoglobine oxycarbonée. Cette dernière réaction est beaucoup plus stable que la première.

L'oxyhémoglobine donne au spectroscope un spectre d'absorption présentant des bandes sombres correspondant aux longueurs d'ondes de  $\lambda = 560$  et de  $\lambda = 540$  dans la partie centrale de ces bandes.

L'hémoglobine, réduite par un sulfure alcalin, est caractérisée par une bande unique d'absorption dont le centre correspond à  $\lambda = 560$ .

Le spectre d'absorption de l'hémoglobine oxycarbonée présente également deux bandes sombres, la première, toujours située à gauche de la raie D dans le cas de l'oxyhémoglobine, se déplace vers la droite de façon à faire disparaître la raie D. On s'en aperçoit en utilisant le spectre solaire où la raie sombre D, très visible, peut servir de point de repère.

La réaction de l'hémoglobine avec l'oxyde de carbone devient douteuse dès que la proportion de ce gaz par rapport à l'oxygène ne dépasse pas un demi pour cent, ou, par rapport à l'air, ne dépasse pas un dixième pour cent.

Pour employer ce procédé de détermination de l'oxyde de carbone dans les gaz, il convient donc, surtout aux faibles teneurs, d'éliminer en premier lieu l'oxygène, pour être certain de faire absorber l'oxyde de carbone par le sang dilué. L'intérêt de cette méthode se rencontre dans

le fait qu'elle est spécifique seulement de l'oxyde de carbone et qu'elle est insensible aux gaz hydrocarbonés quels qu'ils soient.

Le professeur de médecine légale à l'Université de Paris, M. le docteur Balthazard, préconise la détermination de CO dans le sang de la façon suivante :

On emploiera de préférence du sang de cobaye dilué au centième; on ajoutera à la solution 2 % de borax pour en permettre la conservation pendant un à deux mois. Le sang de cobaye a servi à l'établissement d'échelles de mesure permettant la détermination quantitatives de CO dans les gaz.

Afin d'assurer la réaction spectroscopique avec netteté, il faut qu'il y ait au moins un tiers d'hémoglobine du sang combinée. Il en résulte qu'au fur et à mesure que les gaz contiendront moins de CO, il en faudra un plus grand volume pour assurer la réaction. Pour fixer les idées, on obtient cette réaction avec

90 cm <sup>3</sup> de gaz sans oxygène avec une teneur de CO de	0,0010000
200 » » » »	0,0002500
500 » » » »	0,0000654
2200 » » » »	0,0000100

#### Matériel et mode opératoire.

On recueille l'échantillon du gaz à analyser dans un flacon gradué de 2 litres environ. On y introduit une quantité suffisante d'hyposulfite de soude du commerce, dissous dans de l'eau, pour absorber l'oxygène libre, ainsi que de la soude en excès.

Le flacon étant relié, suivant le principe des vases communicants, à un flacon d'équilibre contenant de l'eau, on provoque le déplacement de l'échantillon gazeux à raison d'un demi litre par heure, à travers 20 centimètres cubes de sang dilué introduit dans un petit serpentín de verre. Un

robinet spécial est greffé sur le serpentín afin de pouvoir prélever, par demi centimètre cube, un échantillon de la solution sanguine que l'on soumet à l'examen spectroscopique.

On aura soin de ne pas omettre l'emploi du sulfhydrate d'ammoniaque pour réduire l'oxyhémoglobine restante.

#### 26. ÉQUIPEMENT POUR LE RÉGLAGE DES FEUX.

L'opération du réglage des feux est indispensable pour assurer le travail économique. Elle doit fournir les éléments à communiquer aux chauffeurs : *épaisseurs des feux sur la grille* pour les diverses ouvertures du registre.

Il convient de s'entourer de toutes les précautions matérielles voulues, pour en assurer la bonne exécution.

Le prélèvement des échantillons étant plus rapide que leur analyse, on disposera de trois flacons doubles d'aspiration quand on opérera à l'appareil d'Orsat et de quatre flacons, au contraire, quand on opérera à la burette de Bunte.

Il sera indispensable de se munir de deux appareils de mesure (Orsat ou autres), l'un en fonctionnement, l'autre en réserve, en prévision des accidents.

#### 27. CONTROLE PERMANENT DE LA MARCHÉ DES FEUX.

Le contrôle permanent de la marche des feux s'effectue au moyen d'analyseurs automatiques qui présentent, pour le chauffeur, l'inconvénient de signaler, avec retard, les états successifs du feu.

Les analyseurs automatiques sont particulièrement utiles aux conducteurs d'usines qui désirent contrôler le travail accompli.

Le plus souvent ces appareils enregistrent la teneur des fumées en acide carbonique.

Pour obtenir la chauffe la plus économique, la teneur en  $\text{CO}^2$  doit toujours être poussée jusqu'au point de naissance de l'oxyde carbone. Ce point apparaîtra à des teneurs variables en acide carbonique, les variations se produisant avec celles de l'allure de la combustion. Ce graphique des teneurs en  $\text{CO}^2$  suivra, sinon parallèlement tout au moins dans le même sens, celui des variations de l'allure.

Les analyseurs automatiques genre « Mono » renseignent en plus de la teneur en  $\text{CO}^2$ , celle des fumées en gaz imbrûlés, quand il y en a. C'est là un sérieux avantage pour le contrôle, mais les indications de ces appareils sont également tardives.

Le contrôle permanent de la chaufferie au moyen de tous ces appareils ne peut donner des résultats effectifs qu'après que le chauffeur sera renseigné sur l'importance des hauteurs de feux, qu'après que l'on aura assuré une collaboration étroite entre le technicien-chimiste et le chauffeur pour la recherche des dosages standards.

(A suivre).

## TABLE DES MATIÈRES

### Étude sur le Chauffage direct

(Rapport sur la recherche de l'économie de charbon dans le chauffage des chaudières et des fours à chauffage direct). — Note d'introduction.

#### PREMIÈRE PARTIE.

##### Du personnel et de la Chaufferie.

1. <i>Choix et emploi du personnel</i> . . . . .	701
2. <i>Aménagement de la Chaufferie</i> . . . . .	702

#### DEUXIÈME PARTIE.

##### De la combustion au point de vue chimique.

CHAPITRE PREMIER. — Rappel des considérations théoriques	706
3. <i>Généralités. — Définition du chauffage direct sur grille</i> . . . . .	706
4. <i>Composition des combustibles et de l'air comburant</i> . . . . .	707
a) Combustibles . . . . .	707
b) Air comburant . . . . .	708
5. <i>Processus des réactions selon les proportions relatives du combustible et de l'air comburant en présence</i> . . . . .	710
a) Distillation . . . . .	710
b) Gazéification . . . . .	710
c) Combustion . . . . .	711
6. <i>Notations. — Constantes. — Réactions chimiques.</i> . . . . .	712
a) Notations . . . . .	712
b) Constantes. . . . .	713
c) Réactions chimiques. . . . .	713
I. CARBONE . . . . .	714
II. HYDROGÈNE . . . . .	714
III. MÉTHANE . . . . .	714
7. <i>Etablissement de la composition volumétrique des fumées. — Cas général</i> . . . . .	714
a) Dispersion des éléments combustibles . . . . .	714
b) Calculs . . . . .	717

8. Relation obligée entre les volumes des constituants de la fumée. — Contrôles des analyses . . . . .	719
a) Généralités . . . . .	719
b) Combustion du coke. . . . .	720
c) Intervention des hydrocarbures . . . . .	721
I. DANS LE CAS DE LA COMBUSTION INCOMPLÈTE DU COKE . . . . .	723
1° Combustion incomplète du méthane . . . . .	723
2° Combustion complète du méthane . . . . .	724
II. DANS LE CAS DE LA COMBUSTION COMPLÈTE DU COKE . . . . .	724
1° Combustion incomplète de méthane . . . . .	724
2° Combustion complète du méthane . . . . .	725
9. Exemple d'application des principes théoriques qui précèdent au cas d'un combustible de composition donnée . . . . .	726
Tableau des résultats. — Graphique . . . . .	728
<b>CHAPITRE II. — De la limite de combustibilité des combustibles . . . . .</b>	
10. Recherches des conditions dans lesquelles la combustion ne peut plus se produire . . . . .	731
11. Les limites de combustibilité dans le chauffage direct . . . . .	738
12. Conclusion . . . . .	742
<b>CHAPITRE III. — Principes pour la détermination de la limite de combustibilité d'un charbon de grille dans les conditions mêmes de son emploi et résultats d'expériences effectuées en application de ces principes. . . . .</b>	
13. Définitions et principes . . . . .	936
14. Expériences effectuées en vue de vérification des principes posés. Descriptions . . . . .	937
a) Description de la chaudière d'expérience . . . . .	937
b) Équipement de la chaudière pour les expériences . . . . .	937
c) Mode opératoire . . . . .	938
d) Remarques . . . . .	940

15. Résultats d'expériences . . . . .	942
a) Aux usines d'électricité du Pays de Liège . . . . .	942
b) Aux usines d'Athus-Grivegnée . . . . .	945
16. Coefficient $L_c$ . . . . .	949
17. Causes favorisant le relèvement du coefficient $L_c$ . . . . .	950
18. Règles à suivre pour la détermination pratique de l'épaisseur Standard des feux pour une position donnée du registre dans la gargouille . . . . .	952
10. Travail du chauffeur . . . . .	953
a) Préparation du charbon a pied d'œuvre . . . . .	953
b) Travail des charges . . . . .	954
c) Conclusions . . . . .	956
<b>CHAPITRE IV. — Équipement des chaufferies pour l'analyse chimique des fumées . . . . .</b>	
20. Généralités . . . . .	957
21. Prises d'échantillons . . . . .	960
a) Sondes . . . . .	960
b) Tuyaux d'aspiration. . . . .	961
c) Appareils d'aspiration . . . . .	964
22. Mesurage des gaz et burettes à gaz . . . . .	969
23. Appareils de mesure . . . . .	971
24. Préparation des liqueurs absorbantes . . . . .	971
25. Réaction spectroscopique de l'hémoglobine oxycarbonée. . . . .	973
26. Équipement pour le réglage des feux . . . . .	975
27. Contrôle permanent de la marche des feux . . . . .	975