

Appréciation de la tenue au feu de différents types d'agglomérés

INSTITUT NATIONAL DE L'INDUSTRIE CHARBONNIERE

P. LEDENT,
Ingénieur en Chef.

M. MARCOURT,
Ingénieur.

SAMENVATTING

De studie handelt over het uitwerken van een methode voor het vergelijken van het gedrag van eierkolen wanneer ze verbrand worden in een speciale draaiende haard, die de vorm heeft van een cilindrische kooi en op een gestandaardiseerde manier, onafhankelijk van de operateur, wordt bewogen.

Het gedrag tegenover het vuur wordt gekenmerkt door de index van het verlies in assen, dat overeenkomt met het verlies aan brandstof opgenomen bij een omwentelingssnelheid van het rooster van 1/4 toer per minuut. Dit verlies wordt uitgedrukt in procent van het gewicht van de verbruikte brandstof.

Het aanhoudend zeven tijdens de proef geeft aanleiding tot een belangrijk verlies, dat 30 tot 40 maal meer bedraagt dan de cijfers die men bekomt tijdens proeven in gewone huishoudelijke inrichtingen.

Deze methode laat toe de verschillende typen van eierkolen te klasseren in drie groepen.

De eerste groep, die een index heeft van minder dan 25 %, heeft betrekking op de gecarboniseerde eierkolen op basis van vette kolen, en op de agglomeraten van vette kolen met als bindmiddel maniok of lignosulfiet.

De tweede groep, met index van 25 tot 40 %, bevat de eierkolen met teer, de syntraciet, de gecarboniseerde eierkolen op basis van mengsels van vette en magere kolen, en de magere eierkolen gebonden met lignosulfiet.

Tenslotte komen de magere eierkolen met suprakol C, de rookvrije eierkolen met teer en de magere agglomeraten gebonden met ureum-formol, waarvan de index ligt tussen 35 en 55 %.

De agglomeraten hebben een beter gedrag tegenover het vuur dan de natuurlijke stukken.

RESUME

L'étude porte sur la mise au point d'une méthode qui permet de comparer la tenue au feu des boulets en les brûlant dans un foyer spécial tournant, en forme de cage d'écureuil, dans des conditions standardisées, indépendantes de l'opérateur.

La tenue au feu est caractérisée par un indice de perte au cendrier qui correspond à la perte de combustible enregistrée pour une vitesse de rotation de la grille de 1/4 tr/min. Cette perte est exprimée en pourcent du poids de combustible consommé.

Le tamisage continu réalisé au cours de l'essai amplifie considérablement la perte, qui atteint des valeurs 30 à 40 fois plus élevées que celles que l'on obtient couramment lors d'un essai en foyer domestique.

L'application de la méthode à différents types d'agglomérés permet leur classement en trois groupes.

Le premier avec un indice plus petit que 25 % comprend les boulets carbonisés à base de charbon gras et les agglomérés de charbon gras liés au manioc ou au lignosulfite.

Le deuxième avec des indices compris entre 25 et 40 % contient les boulets au brai, la synthracite, les boulets carbonisés à base de mélanges de charbon gras et maigre et les boulets anthraciteux liés au lignosulfite.

Viennent ensuite les boulets anthraciteux au Suprakol C, les boulets au brai défumés et les agglomérés anthraciteux liés à l'urée-formol dont l'indice se situe entre 35 et 55 %.

Les agglomérés ont une tenue au feu supérieure à celle des classés naturels.

INHALTSANGABE

In der Arbeit wird über die Entwicklung eines Verfahrens berichtet, das die Möglichkeit bietet, die Feuerstandfestigkeit von Briketts durch Verbrennung in einem käfigartigen Spezialdrehofen unter genormten Bedingungen und unter Ausschaltung subjektiver Momente bei der Beurteilung zu vergleichen.

Die Feuerstandfestigkeit wird durch einen Index gekennzeichnet, der auf dem Gewichtsverlust infolge Veraschung bei einer Rostgeschwindigkeit von einer Viertelumdrehung je Minute beruht. Dieser Verlust wird als Prozentsatz des Gewichtes des verbrauchten Brennstoffs ausgedrückt.

Durch kontinuierliche Siebung während des Versuches wird der Ascheverlust wesentlich erhöht und erreicht 30 - 40 mal höhere Werte als bei einem Versuch in einem Hausbrandofen.

Die Anwendung dieses Verfahrens auf verschiedene Arten von Briketts ermöglicht ihre Einteilung in drei Gruppen. Zur ersten Gruppe mit einer Kennzahl von 25 % gehören Fettkohlenschwelbriketts sowie Briketts aus Fettkohle, die mit Maniok-Mehl oder Sulfidablauge als Bindemittel hergestellt sind.

Die zweite Gruppe mit Kennzahlen zwischen 25 und 40 % umfasst Briketts mit Pech, Synthrazit, Schwelbriketts aus einem Gemisch von Fett- und Magerkohle sowie Anthrazitbriketts mit Sulfidablauge als Bindemittel.

Als dritte Gruppe folgen Anthrazitbriketts mit Suprakol C, raucharme Briketts mit Pech sowie Anthrazitbriketts mit Harnstoff-formaldehyd als Bindemittel; die Kennzahl dieser dritten Gruppe liegt zwischen 35 und 55 %.

Briketts haben eine höhere Feuerstandfestigkeit als Nusskohlen.

1. INTRODUCTION

Un combustible domestique de choix doit posséder diverses qualités, dont une bonne tenue au feu. Jusqu'à présent, l'appréciation de cette caractéristique a été aléatoire et fort tributaire de l'opérateur. Cette étude a pour objet de mettre au point une méthode susceptible de caractériser les agglomérés par un indice établi sur des bases strictement objectives.

2. CHOIX DE LA METHODE

Pour l'utilisateur, le combustible qui a la meilleure tenue au feu est celui qui donne le moins d'imbrûlés solides dans le cendrier.

Une première méthode de détermination de la tenue au feu consiste à doser le carbone imbrûlé des cendres obtenues en foyer continu par décendrage

SUMMARY

The research deals with the development of a method whereby it is possible to compare the behaviour of ovoids in the fire by burning them in a special revolving grate in the shape of a squirrel cage, in standardized conditions, independent of the operator.

The behaviour in the fire is characterized by an index of loss in the ashpan corresponding to the loss of fuel recorded for a rotation speed of the grate of 1/4 rev/min. This loss is expressed as a percentage of the weight of fuel consumed.

The continual screening carried out during the test considerably amplifies the loss, which reaches figures 30 to 40 times higher than those commonly obtained in a test in a domestic stove.

The application of the method to various types of ovoids enables them to be classified into three groups.

The first with an index of less than 25 % includes ovoids carbonized from fat coal and ovoids from fat coal bound with manioc or lignosulphite.

The second with indices between 25 and 40 % includes ovoids with pitch, synthracite, ovoids carbonized from mixtures of fat and low volatile coal and anthracite ovoids bound with lignosulphite.

Finally come the anthracite ovoids with Suprakol C, oxydised pitch ovoids and the anthracite urea-formol ovoids the index of which is between 35 and 55 %.

All the ovoids have a better behaviour in the fire than graded coals.

normalisé, après combustion d'un poids déterminé de boulets.

Ce procédé se heurte malheureusement à divers inconvénients résultant de la variabilité de la teneur en cendres des combustibles et de leur aptitude à former des mâchefers.

Dans le cas d'agglomérés peu cendreux, le décendrage normalisé, après une certaine durée de combustion, entraîne le secouage des boulets sur la grille et la chute des braises dans le cendrier. Par contre, si la quantité de cendres est élevée, le nombre de secousses étant le même, les cendres s'éliminent avant le combustible et donnent, au cendrier, une teneur en imbrûlés beaucoup moins importante.

Par ailleurs, si les matières inertes du combustible forment des mâchefers, ces derniers créent un barrage qui arrête les morceaux incandescents. Si le décendrage est accompagné d'un piquage de la

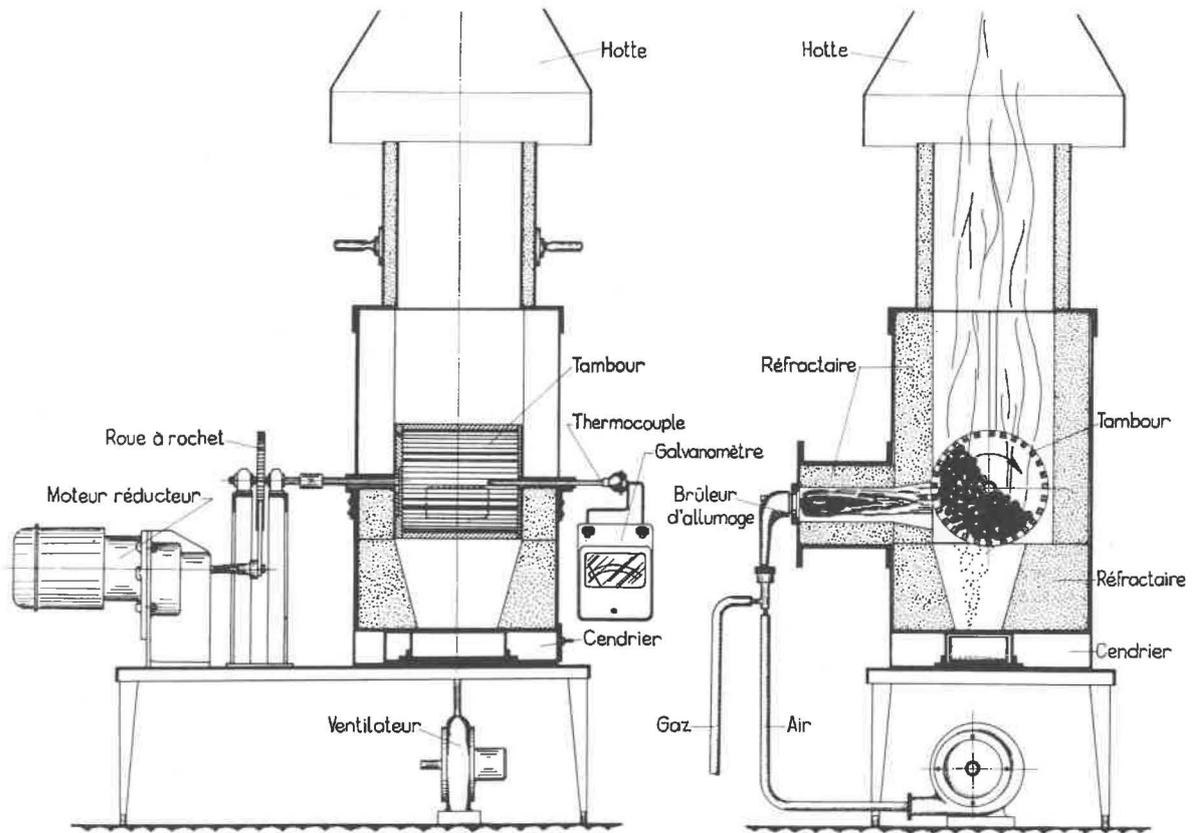


Fig. 1. — Dispositif expérimental.

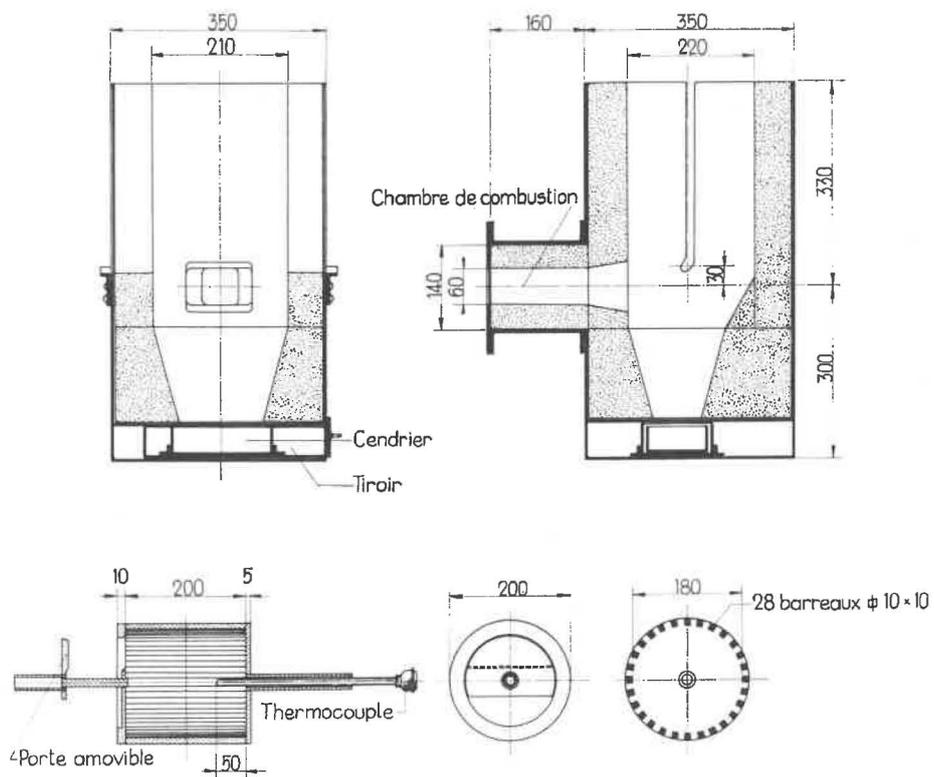


Fig. 2. — Dimensions du foyer et de la grille.

charge, la méthode devient nettement tributaire de l'opérateur.

Un foyer spécial a été construit en vue de remédier aux défauts précités et de permettre des comparaisons valables. Il est schématisé à la figure 1 et sa description fait l'objet du paragraphe suivant.

Le principe de la méthode repose sur l'élimination continue des cendres des boulets brûlant à l'intérieur d'une grille cylindrique, qui tourne lentement et de façon ininterrompue.

La tenue au feu est mesurée par la perte au cendrier de charbon imbrûlé plus petit que 10 mm, produit durant la combustion d'un poids déterminé de boulets.

Le tamisage continu réalisé au cours de l'essai amplifie considérablement la perte qui atteint des valeurs 30 à 40 fois plus élevées que celle que l'on obtient couramment lors d'un essai en foyer domestique.

3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'installation d'essai est schématisée à la figure 1. Elle se compose d'un foyer en réfractaire, d'un dispositif de commande de rotation de la grille et d'un ventilateur de soufflage d'air.

Le foyer et la grille sont cotés à la figure 2. La grille, en acier inoxydable, est un cylindre de 200 mm de diamètre constitué de barreaux carrés espacés de 10 mm, disposés entre deux flasques latéraux pleins. La face munie du bout d'arbre à accoupler au dispositif de commande est divisée en deux parties ; l'une est solidaire de la grille et l'autre d'un tube pouvant coulisser et tourner d'un certain angle sur l'arbre du tambour, afin de ménager une ouverture pour l'introduction des boulets. Le second tourillon est également creux, afin de permettre l'introduction d'un thermocouple.

Le bloc réfractaire est muni de deux fentes latérales qui permettent le passage et le placement de la grille dans le foyer.

Latéralement au foyer et face aux barreaux de la grille, se trouve un brûleur « Meker » à gaz de ville, qui souffle les fumées chaudes de préchauffage et l'air de combustion durant l'essai proprement dit. Le dispositif de commande de la grille est constitué d'un moto-réducteur et d'une roue à rochet. La vitesse peut être réglée en modifiant la position de l'excentrique de commande du cliquet de la roue à rochet.

4. MODE OPERATOIRE

L'essai de tenue au feu se déroule comme suit :

- Allumage du brûleur « Meker » en vue d'échauffer les parois réfractaires. Ce préchauffage, réalisé avec un débit de gaz de 80 litres par minute, dure conventionnellement une demi-heure.
- Mise en place de la cage contenant 2 kg de boulets. Démarrage du moteur qui commande la

rotation de la grille et poursuite du chauffage de l'ensemble pendant 5 à 10 min jusqu'à ce que la température mesurée par le thermocouple placé dans l'axe de la grille (à 5 cm du flasque latéral) indique 550° C.

- Cet instant est choisi comme origine des temps. Le gaz est coupé et le cendrier est vidé des particules de charbon tombées durant la période de préchauffage des boulets. Le ventilateur maintenu en marche débite un volume d'air de combustion de 250 litres par minute. Les déchets déposés dans le cendrier sont enlevés du tiroir toutes les 10 minutes.
- Lorsque la température des fumées à l'intérieur de la cage retombe à 350° C, la combustion est suffisamment ralentie pour que l'opération soit considérée comme terminée. Le temps final est noté, la grille est retirée, les cendres déposées sur les parois réfractaires sont brossées après refroidissement du poêle et sont ajoutées au dernier prélèvement.

Les déchets obtenus au cendrier toutes les 10 minutes sont cumulés, divisés en deux fractions granulométriques au tamis à mailles carrées de 4 mm et enfin soumis à l'analyse en vue de déterminer la teneur en cendres globale à partir de laquelle sont calculés les poids de déchets secs sans cendres.

5. EXPRESSION DES RESULTATS

Les principaux résultats des essais sont groupés au tableau I, tandis que la description des agglomérés étudiés et les indices de perte au cendrier qui les caractérisent figurent au tableau II.

5.1. Description des boulets.

Les agglomérés sont repérés par des lettres et définis par la nature du charbon et du liant, par la teneur en liant, par le type de traitement thermique qu'ils ont subi et par leur teneur en cendres.

Ils ont été classés en 5 groupes.

Le premier contient des combustibles divers comme les agglomérés carbonisés en fours à chambres, les agglomérés à base de charbons gras liés au manioc ou au lignosulfite, les boulets au brai et enfin les agglomérés à base d'antracite liés au lignosulfite.

Viennent en second lieu les agglomérés non fumeux liés au Suprakol.

Le troisième groupe contient les boulets au brai défumés, à base d'antracite, tandis que ceux à base de charbon maigre constituent le quatrième groupe.

Les boulets anthraciteux liés à l'urée-formol forment la cinquième catégorie.

A titre comparatif, la méthode a également été appliquée à deux classés d'antracite de calibre 30/50. Les résultats obtenus sur ces combustibles figurent aux deux dernières lignes des tableaux.

52. Les pertes au cendrier P_1 et P_2 correspondant respectivement à des vitesses de rotation de la grille de 1 tr/min et de 1/4 tr/min sont exprimées en grammes et sont calculées sur sec sans cendres. Elles contiennent les déchets obtenus durant la période de préchauffage (dans le cas des agglomérés, cette petite fraction, de l'ordre de 1 à 10 g, n'a qu'une influence négligeable sur les résultats de l'essai ; elle est plus importante pour les charbons classés, qui résistent mal au choc thermique de préchauffage).

53. Pour le calcul de la quantité de boulets consommés, on admet que les imbrûlés restant dans la grille, après l'essai, ont la même teneur en cendres que la charge initiale.

54. La tenue au feu est caractérisée par un indice de perte au cendrier. Cet indice est le rapport entre la perte en combustible (sec sans cendres) qui se produit pendant la durée de l'essai et la quantité de combustible consommé (sec sans cendres).

Les indices I_1 et I_2 correspondent respectivement aux vitesses de rotation de la grille de 1 tr/min et 1/4 tr/min. Si l'on excepte deux types d'agglomérés, le rapport I_2/I_1 est généralement compris entre 0,77 et 0,87 soit en moyenne 0,82. Comme tous les boulets n'ont pas été étudiés pour une vitesse de rotation de grille de 1/4 tr/min, on a calculé un indice I'_2 correspondant à cette dernière vitesse en multipliant toutes les valeurs de I_1 par 0,82.

Les deux classés anthraciteux ont un indice de perte au cendrier pratiquement indépendant de la vitesse de rotation de la grille.

55. Tous les déchets obtenus au cendrier ont été divisés en deux fractions granulométriques au tamis à mailles carrées de 4 mm. Le rapport du poids des grains > 4 mm au poids des particules < 4 mm est donné au tableau II, pour chacune des vitesses de rotation étudiées. Les valeurs obtenues pour les deux vitesses de rotation sont du même ordre de grandeur.

6. DISCUSSION DES RESULTATS

61. Critique de la méthode.

Le foyer à grille tournante réalise un tamisage continu des grains plus petits que 10 mm produits durant la combustion d'un poids déterminé de combustible.

En fait, la perte est fonction de deux paramètres :
— les chocs thermiques qui entraînent un délitage plus ou moins marqué du combustible ;
— les chocs mécaniques consécutifs au mouvement de rotation de la grille.

Le premier facteur ne dépend que du combustible et caractérise sa tenue au feu.

Le second est fonction du nombre de tours de la grille.

Si l'on admet que la dégradation due aux chocs est proportionnelle au nombre de rotations, la perte au cendrier répond à l'équation $P = A + BN$ dans laquelle A est la perte produite par le choc thermique, BN , la perte consécutive à l'agitation mécanique de la grille et N , le nombre de tours effectués durant l'essai.

Il s'ensuit que A est égal à

$$(P_2N_1 - P_1N_2)/(N_1 - N_2).$$

L'application de l'équation aux deux types d'essais réalisés a donné pour A des valeurs assez élevées (voir tableau I) comprises dans la plupart des cas entre 65 et 75 % de la perte globale P_1 obtenue à 1 tr/min (en moyenne 70 %) et entre 85 et 95 % de P_2 (en moyenne 88 %).

En pratique, la faible vitesse de rotation donne une perte au cendrier P_2 suffisamment proche de A pour qu'on puisse l'adopter comme critère de la tenue au feu.

Les déchets obtenus au décrassage d'un foyer domestique sont d'un ordre de grandeur de 30 à 40 fois plus faible que ceux qui sont obtenus en foyer à grille rotative ; en fait, les déchets se produisent également en lit fixe et, si la perte au cendrier est réduite, c'est uniquement parce que les grains restent emprisonnés dans la charge et ne tombent que lors des secouages de la grille.

Il n'en reste pas moins que la perte due au décentrage du foyer domestique doit être proportionnelle à la quantité de morceaux de petite granulométrie présents dans la charge et, par conséquent, aux pertes mesurées au cours d'un essai de combustion en grille rotative.

62. Comparaison des combustibles.

La comparaison des résultats se fera sur la base de l'indice de perte au cendrier I_2 (ou de l'indice I'_2 transposé).

Trois combustibles viennent en tête avec des indices compris entre 18 et 25 %. Ce sont des boulets à base de charbon gras carbonisés et des boulets de charbon gras liés au manioc ou au lignosulfite. Parmi ces trois types d'agglomérés, seul le boulet carbonisé 62D est un aggloméré non fumeux.

Vient ensuite une deuxième catégorie dont les indices sont compris entre 25 et 40 %. Elle comprend les boulets au brai, la synthracite, les agglomérés carbonisés à base de charbon gras et d'anthracite et les agglomérés anthraciteux liés au lignosulfite.

Les boulets anthraciteux au Suprakol C se classent entre 40 et 45 %. On note que l'adjonction d'un peu de charbon demi-gras n'améliore nullement leur tenue au feu.

Les agglomérés au brai défumés, qu'ils soient à base d'antracite ou de charbon maigre, constituent un groupe un peu plus dispersé, dont l'indice de perte au cendrier peut varier de 35 à 50 %.

Les boulets à l'urée-formol ont une tenue au feu encore acceptable, avec un indice de perte au cendrier de l'ordre de 55 %. Leur principal inconvénient est l'odeur forte et désagréable qu'ils dégagent à la combustion.

Les classés d'antracite ont un indice de perte au cendrier au-delà de 80 %.

63. Granulométrie des cendres.

Le rapport en poids des déchets plus grands et plus petits que 4 mm est assez élevé pour les boulets de charbon gras agglomérés au lignosulfite et au manioc, pour les boulets de charbon gras carbonisés en four à chambres, ainsi que pour les boulets au brai de charbon maigre défumés et pour quelques boulets défumés à base d'antracite. La synthracite, les boulets au brai et les agglomérés anthraciteux liés au lignosulfite et à l'urée formol ont un rapport granulométrique nul ou très faible.

Il semblerait que les boulets de charbon gras carbonisés en four à chambres et que la grande majorité des combustibles défumés soient le siège de tensions internes qui, sous le choc thermique, provoquent leur éclatement en plusieurs gros morceaux. Ce sont ces derniers, qui, après combustion partielle, peuvent passer au travers des barreaux de la grille. Les boulets de charbon gras suivent le même processus. Sous l'effet du gradient thermique important réalisé dans le foyer, la cokéfaction du charbon s'accompagne de contraintes qui jouent le même rôle que pour les agglomérés préalablement carbonisés ou oxydés.

Dans le même ordre d'idées, si la tenue au feu des boulets au lignosulfite est supérieure à celle des boulets au Suprakol C, c'est vraisemblablement parce que la température de traitement des boulets au Suprakol est plus élevée que la température de séchage des agglomérés au lignosulfite. Par contre, la carbonisation du brai, dans les boulets maigres ou anthraciteux, ne semble pas donner naissance à des tensions internes, si l'on en juge par les résultats obtenus sur la Synthracite et sur les boulets au brai non défumés.

7. PROPOSITIONS DE STANDARDISATION

Au cours de ces essais, on a constaté que la perte au cendrier obtenue pour une vitesse de rotation de la grille de 1/4 tr/min était à peine supérieure au délitage des boulets sous l'effet des chocs thermiques. Dans ces conditions, on propose d'adopter cette faible vitesse et de standardiser le mode opératoire d'un essai de tenue au feu comme suit :

- Mise en chauffage du foyer durant une demi-heure, avec un débit de gaz de 80 litres par minute.
- Placement du tambour, contenant 2 kg de boulets, dans le poêle.
- Mise en marche de la grille à la vitesse de rotation de 1/4 tr/min et poursuite du chauffage jusqu'à ce que la température indiquée par le thermocouple, placé à 5 cm de la paroi latérale de la grille, atteigne 550° C.
- Arrêt du gaz, tandis que le ventilateur maintenu en marche souffle un débit d'air de 250 litres par minute.
- Lorsque la température des fumées à l'intérieur de la grille retombe à 350° C, l'opération est terminée et la grille est retirée.
- Après refroidissement de l'appareil, les cendres déposées sur les parois réfractaires sont brossées dans le cendrier, ce dernier contient ainsi tous les déchets tombés durant l'essai, y compris la fraction déposée durant le préchauffage des boulets. La capacité du cendrier sera choisie de manière à ce qu'il puisse contenir environ 1,2 kg de déchets.
- La perte totale au cendrier est pesée et soumise à l'analyse des cendres. Les boulets imbrûlés restés dans la grille sont pesés.
- L'indice de perte au cendrier est calculé à partir de ces différentes déterminations par la formule : $I = (P_c/P_i)$ dans laquelle P_c est la perte totale au cendrier (sec sans cendres) et P_i le poids de boulets consommés (sec sans cendres).

8. CONCLUSIONS

81. On a tenté d'apprécier quantitativement la tenue au feu des agglomérés au moyen d'un nouveau foyer à grille tournante, qui peut fonctionner dans des conditions standardisées indépendantes de l'opérateur. Deux vitesses de rotation de la grille ont été expérimentées et la discussion des résultats obtenus conduit à proposer la standardisation de la méthode en adoptant la plus faible de ces deux vitesses, soit 1/4 tr/min.

82. La tenue au feu d'un aggloméré est caractérisée par un indice de perte au cendrier qui exprime le rapport entre le poids de combustible perdu (sec sans cendres) et le poids de combustible consommé (sec sans cendres).

Le tamisage continu réalisé au cours de l'essai amplifie considérablement la perte qui atteint des valeurs 30 à 40 fois plus élevées que celles que l'on obtient couramment lors d'un essai en foyer domestique.

83. L'application de la méthode à différents types d'agglomérés permet leur classement en trois groupes.

Le premier avec un indice plus petit que 25 % comprend les boulets carbonisés à base de charbon gras et les agglomérés de charbon gras liés au maïnoc ou au lignosulfite.

Le deuxième avec des indices compris entre 25 et 40 % contient les boulets au brai, la Synthracite, les boulets carbonisés à base de mélanges de charbons gras et maigre et les boulets anthraciteux liés au lignosulfite.

Viennent ensuite les boulets anthraciteux au Suprakol C, les boulets au brai défumés et les ag-

glomérés anthraciteux liés à l'urée-formol dont l'indice se situe entre 35 et 55 %.

Les agglomérés ont une tenue au feu supérieure à celle des classés naturels.

84. L'analyse granulométrique des cendres met en évidence la différence de comportement des combustibles. Les classés anthraciteux, les boulets à base de charbon gras carbonisés ou non et la plupart des boulets oxydés donnent une proportion importante de grains plus grands que 4 mm.

TABLEAU I.
Résultats des essais de tenue au feu.

| Marque ou repère | Cendres s/sec (%) | | | Pertes au cendrier (g) (sec ss cs) | | Boulets imbrûlés (g) (sec ss cs) | | Boulets consommés (g) (sec ss cs) | | Délitage A | | |
|------------------------|-------------------|------------------|----------|------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------|-----------------------------------|----------|----------------|---------------------------|---------------------------|
| | Boulets | Déchets cendrier | | P ₁ 1 tr/min | P ₂ ¼ tr/min | 1 tr/min | ¼ tr/min | 1 tr/min | ¼ tr/min | g sec ss cs | en % de P ₁ | en % de P ₂ |
| | | 1 tr/min | ¼ tr/min | | | | | | | | | |
| 62 D | 8,5 | 27,3 | 24,6 | 306 | 309 | 157 | 133 | 1649 | 1674 | 310,0 | ~100 | ~100 |
| Mozambique | 13,5 | 33,6 | — | 350 | — | 90 | — | 1622 | — | — | — | — |
| B/J | 8,8 | 17,1 | — | 573 | — | 26 | — | 1763 | — | — | — | — |
| M F (o) | 7,7 | 15,1 | — | 551 | — | 216 | — | 1609 | — | — | — | — |
| 17 D | 6,4 | 9,1 | — | 657 | — | 177 | — | 1664 | — | — | — | — |
| H U/G B | 7,4 | 13,0 | 16,7 | 631 | 471 | 292 | 278 | 1529 | 1544 | 408 | 64,7 | 86,6 |
| Synthracite | 5,9 | 8,8 | 12,7 | 579 | 448 | 449 | 531 | 1397 | 1315 | 398 | 69,7 | 88,8 |
| J (o) | 8,0 | 11,7 | — | 687 | — | 336 | — | 1486 | — | — | — | — |
| Cévennes 1 | 6,6 | 9,1 | — | 811 | — | 172 | — | 1655 | — | — | — | — |
| J (s) | 5,3 | 6,7 | 8,8 | 861 | 727 | 156 | 149 | 1715 | 1722 | 674 | 78,3 | 92,7 |
| Cévennes 2 | 6,7 | 9,0 | — | 875 | — | 99 | — | 1722 | — | — | — | — |
| H U | 6,0 | 6,9 | 9,9 | 974 | 771 | 20 | 140 | 1838 | 1718 | 680 | 69,8 | 88,2 |
| Cévennes 3 | 7,5 | 10,4 | — | 946 | — | 67 | — | 1740 | — | — | — | — |
| E B F 1 | 10,5 | 20,8 | 20,8 | 746 | 547 | 153 | 231 | 1623 | 1545 | 451 | 60,5 | 82,4 |
| J (d) | 8,1 | 12,9 | — | 752 | — | 207 | — | 1607 | — | — | — | — |
| N G (d) | 7,1 | 10,2 | 14,6 | 854 | 688 | 156 | 262 | 1674 | 1605 | 581 | 68,0 | 84,4 |
| G B | 8,0 | 11,2 | 11,2 | 921 | 734 | 134 | 136 | 1692 | 1689 | 650 | 70,6 | 88,6 |
| E B F 2 | 9,7 | 16,6 | 16,6 | 919 | 753 | 99 | 145 | 1693 | 1647 | 660 | 71,8 | 87,6 |
| Anthracine | 6,2 | 8,2 | 9,6 | 907 | 835 | 265 | 249 | 1588 | 1603 | 802 | 88,4 | 96 |
| W3 | 9,1 | 14,5 | 18,4 | 789 | 676 | 98 | 120 | 1701 | 1678 | 611 | 77,4 | 90,4 |
| W1 | 8,3 | 11,0 | — | 848 | — | 118 | — | 1680 | — | — | — | — |
| W4 | 9,0 | 14,8 | 18,0 | 863 | 692 | 105 | 110 | 1700 | 1694 | 634 | 73,5 | 91,6 |
| M F 2 | 7,4 | 10,5 | — | 867 | — | 167 | — | 1660 | — | — | — | — |
| M F 4 | 7,7 | 9,7 | — | 875 | — | 136 | — | 1654 | — | — | — | — |
| H P | 7,8 | 14,0 | 14,0 | 915 | 714 | 98 | 163 | 1724 | 1659 | 611 | 66,8 | 85,6 |
| W2 | 7,9 | 10,9 | — | 936 | — | 66 | — | 1751 | — | — | — | — |
| M F 1 | 7,6 | 10,3 | — | 919 | — | 159 | — | 1665 | — | — | — | — |
| M F 3 | 7,5 | 10,1 | — | 991 | — | 76 | — | 1726 | — | — | — | — |
| M F 5 | 7,6 | 10,1 | — | 994 | — | 110 | — | 1697 | — | — | — | — |
| M F 6 | 7,7 | 10,1 | — | 1014 | — | 108 | — | 1714 | — | — | — | — |
| J (p) | 4,4 | 7,0 | 7,3 | 1187 | 1010 | 27 | 67 | 1869 | 1829 | 924 | 77,8 | 91,5 |
| J 30/50 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 1449 | 1342 | 140 | 221 | 1744 | 1663 | 1248 | 86,1 | 93 |
| A/R 30/50 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 1500 | 1471 | 67 | 166 | 1829 | 1730 | 1440 | 96 | 98 |

TABLEAU II.
Description et caractéristiques de tenue au feu des boulets.

| Marque ou repère | Charbon de base | Liant | Traitement thermique subi | | | Indices de perte au cendrier (en % des boulets consommés) | | | | Rapport granulométrique des déchets > 4 mm / < 4 mm | |
|-----------------------------------|---|--|---------------------------|----------------|-------------|---|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|----------|
| | | | Durée | Nature | Temp. (° C) | I ₁ 1 tr/min | I ₂ ¼ tr/min | I ₂ /I ₁ | I' ₂ ¼ tr/min | 1 tr/min | ¼ tr/min |
| 62 D Mozamb. B/J | Gras ¾ gras 88 % gras + 12 % Anth. | 4 % LS 1,5 % Manioc 4 % LS | 4 h | Carbonisation | 600 | 18,5 | 18,4 | ~1 | — | 3,4 | 3,6 |
| | | | 6 min | Séchage | 240 | 21,6 | — | — | 17,7 | 3,4 | — |
| | | | 6 min | Séchage | 280 | 29,0 | — | — | 23,8 | 8,7 | — |
| M/F (o) 17 D | Maigre 50 % gras + 50 % maigre | 7 % Brai 4 % LS | — | Néant | — | 34,3 | — | — | 28,1 | 1 | — |
| | | | 1 h 30 min | Carbonisation | 600 | 39,5 | — | — | 32,4 | 3,9 | — |
| HU/GB Synthracite J (o) | Anthracite Maigre Anthracite | 4 % LS 7 % Brai 7 % Brai | 6 min | Séchage | 250 | 41,2 | 30,5 | 0,74 | 33,8 | 0,1 | 0,2 |
| | | | 4 h 30 min | Carbonisation | ±700 | 41,5 | 34,1 | 0,82 | 34,1 | 0 | 0 |
| | | | — | Néant | — | 46,2 | — | — | 37,9 | 0,2 | — |
| Cévennes 1 J (S) Cévennes 2 | Anthracite Anthracite 95 % Anth. + 5 % ½ gras | 5 % Suprakol 4,4 % Suprakol 5 % Suprakol | 8 à 9 min | Polymérisation | 300 | 49 | — | — | 40,2 | 0,9 | — |
| | | | 11 min | Polymérisation | 300 | 50,2 | 42,2 | 0,84 | 41,2 | 0,8 | 0,9 |
| | | | 9 min | Polymérisation | 290 | 50,8 | — | — | 41,7 | 1,5 | — |
| H U Cévennes 3 | Anthracite 90 % Anth. + 10 % ½ gras | 3,5 % Suprakol 5 % Suprakol | 8 min | Polymérisation | 315 | 53,0 | 44,8 | 0,84 | 43,5 | 1,1 | 0,8 |
| | | | 7 min | Polymérisation | 300 | 54,4 | — | — | 44,6 | 1,6 | — |
| E B F 1 J (d) | Anthracite Anthracite | 7 % Brai 7 % Brai | 1 h 30 min | Défumage | 340 | 45,9 | 35,4 | 0,77 | 37,6 | 1,0 | 1,4 |
| | | | 1 h | Défumage | 350 | 46,8 | — | — | 38,4 | 1,1 | — |
| N G (d) G B | Anthracite Anthracite | 7,3 % Brai 7 à 8 % Brai | 1 h 30 min | Défumage | 360 | 51,0 | 42,9 | 0,84 | 41,8 | 1,9 | 0,7 |
| | | | 1 h 30 min | Défumage | 320 | 54,4 | 43,4 | 0,80 | 44,6 | 1,8 | 2,1 |
| E B F 2 Anthracine | Anthracite Anthracite | 8 % Brai 7 % Brai | 1 h 30 min | Défumage | 330 | 54,3 | 45,7 | 0,84 | 44,5 | 3,1 | 2,7 |
| | | | 2 h 30 min | Défumage | ±350 | 57,1 | 52,1 | 0,91 | 46,8 | 1,3 | 1,3 |
| W3 | Maigre | 7 % Brai | 1 h 30 min | Défumage | 330 | 46,4 | 40,3 | 0,87 | 38 | 2,3 | 2 |
| W1 | Maigre | 7 % Brai | 1 h 30 min | Défumage | 325 | 50,4 | — | — | 41,3 | 3,2 | — |
| W4 | Maigre | 7 % Brai | 1 h | Défumage | 320 | 50,8 | 40,9 | 0,81 | 41,7 | 2,0 | 2 |
| M F 2 | Maigre | 7 % Brai | 1 h 30 min | Défumage | 350 | 52,2 | — | — | 42,8 | 2,8 | — |
| M F 4 | Maigre | 7 % Brai | 1 h 30 min | Défumage | 360 | 52,9 | — | — | 43,4 | 2,7 | — |
| H P | Maigre | 7 % Brai | 1 h 30 min | Défumage | 340 | 53,1 | 43,0 | 0,81 | 43,5 | 4,2 | 3,2 |
| W2 | Maigre | 7 % Brai | 1 h | Défumage | 310 | 53,5 | — | — | 43,9 | 3,7 | — |
| M F 1 | Maigre | 7 % Brai | 1 h 30 min | Défumage | 340 | 55,2 | — | — | 45,3 | 2,9 | — |
| M F 3 | Maigre | 7 % Brai | 1 h 30 min | Défumage | 330 | 57,4 | — | — | 47,1 | 3,6 | — |
| M F 5 | Maigre | 7 % Brai | 1 h 30 min | Défumage | 320 | 58,6 | — | — | 48 | 3,4 | — |
| M F 6 | Maigre | 7 % Brai | 1 h 30 min | Défumage | 340 | 59,1 | — | — | 48,5 | 3,3 | — |
| J (p) | Anthracite | 5 % Urée-formol. | 6 min | Polymérisation | 200 | 63,5 | 55,2 | 0,87 | 52,1 | 0,4 | 0,7 |
| J 30/50 | Classé anthracite naturel 30/50 | — | — | Néant | — | 83,1 | 80,7 | ~1 | — | 3,5 | 4,7 |
| A/R 30/50 | Classé anthracite naturel 30/50 | — | — | Néant | — | 82,1 | 85 | ~1 | — | 3,5 | 4,7 |