

Etude des aérosols émis par différents types de combustibles lors de leur combustion dans un poêle domestique (*)

INSTITUT NATIONAL DE L'INDUSTRIE CHARBONNIERE

P. LEDENT,
Ingénieur en Chef.

M. MARCOURT,
Ingénieur.

SAMENVATTING

Deze studie behandelt de uitwerking van een methode om de aerosolen te bepalen die in de verbrandingsroken voorkomen.

Na de verschillende apparaten voor de dosering te hebben onderzocht, werd de methode door filtratie aangenomen, wegens haar eenvoud en de vergelijkbaarheid van de resultaten.

Ten einde zich zoveel mogelijk in de voorwaarden van de verbranding in een huishoudelijke haard te stellen, werden de proeven uitgevoerd op de « nominale » verbrandingswijze, bepaald door de belgische norm NBN 301.

De onderzochte brandstoffen kunnen ingedeeld worden in vier groepen, volgens hun gehalte aan aerosolen.

De gecarboniseerde agglomeraten staan vooraan, gevolgd door de natuurlijke anthracieten en de rookloos gemaakte eierkolen, met teer als bindmiddel. De niet rookloos gemaakte eierkolen, op basis van anthraciet, en de lignosulfitische agglomeraten, op basis van vette slikkolen, komen op de laatste plaats, met een gehalte aan aerosolen dat 10 à 20 maal groter is.

RESUME

L'étude porte sur la mise au point d'une méthode d'appréciation des aérosols contenus dans les fumées de combustion.

Après examen des différents appareils de dosage, la technique par filtration a été adoptée, vu sa simplicité et les résultats reproductibles auxquels elle peut conduire.

Afin de s'approcher des conditions de marche d'une installation domestique, les essais ont été réalisés à l'allure « nominale » codifiée dans la norme belge NBN 301.

Suivant leur indice en aérosols, les divers combustibles examinés peuvent se grouper en quatre catégories.

Les agglomérés carbonisés viennent en tête, suivis par les anthracites naturels et par les boulets au brai correctement défumés. Les boulets au brai, à base d'anthracite, et les agglomérés au lignosulfite, à base de schlamms gras, viennent au dernier rang avec des teneurs en aérosols 10 à 20 fois plus élevées.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION
2. METHODES D'APPRECIATION DES AEROSOLS
3. CARACTERISTIQUES DES COMBUSTIBLES UTILISES
4. CHOIX DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT
5. DISPOSITIF EXPERIMENTAL
6. MODE OPERATOIRE
7. RESULTATS DES ESSAIS
8. CONCLUSIONS.

(*) Ce texte a fait l'objet du Bulletin technique « Houille et Dérivés » Inchar n° 23.

1. INTRODUCTION

L'Institut Belge de Normalisation a publié une norme (1) applicable aux poêles métalliques à combustible minéral solide. Elle a pour objet de définir les spécifications auxquelles doivent satisfaire les appareils domestiques consommant des combustibles maigres. Il s'agit dans ce cas de l'examen d'un foyer devant répondre à certains desiderata tels que : la puissance calorifique et le rendement thermique, la tenue en veilleuse et la reprise du feu, les prescriptions techniques de construction et de tenue au feu de l'appareil.

Le but de la présente étude est d'un tout autre ordre. L'objectif est de réaliser un dosage quantitatif des aérosols contenus dans les fumées de combustion; celles-ci seront examinées pour toute une gamme de combustibles naturels et artificiels brûlés dans un même poêle utilisé dans les mêmes conditions opératoires.

2. METHODES D'APPRECIATION DES AEROSOLS

21. Facteurs opératoires.

La quantité de goudrons et de suies produite lors de la combustion en poêle domestique dépend de deux facteurs opératoires : le type de poêle et son allure de marche.

Le foyer intervient en ce sens qu'il existe deux types d'appareils : dans l'un, la combustion se fait au travers de la masse et dans l'autre, en couche mince. Le deuxième processus entraîne la production de goudrons se dégageant dans un endroit où la température n'est pas maintenue à un niveau suffisamment élevé pour permettre leur inflammation. Au contraire, le foyer à grande masse de combustible en ignition maintient une haute température sur une hauteur de lit relativement grande. Les chances de combustion des matières volatiles passant au travers de la masse sont, de ce fait, augmentées.

Nous avons adopté un foyer fonctionnant suivant ce principe et pourvu d'un habillage intérieur en réfractaire. Cette variante est un perfectionnement puisqu'elle permet de conserver un niveau de température particulièrement élevé.

Les résultats de la combustion sont également influencés par l'allure de marche du poêle : un régime de combustion rapide maintient le foyer très chaud; au contraire, les allures en veilleuse favorisent le dégagement lent et continu de goudrons ne pouvant brûler en raison d'une température trop faible.

Ces allures de marche sont essentiellement variables chez l'usager. Il paraît donc impossible de les reproduire mais il est nécessaire d'adopter un ensemble de conditions proches de celles qui sont réalisées en pratique. Nous avons choisi l'allure nominale définie dans la norme NBN 301. Ce régime, assez rapide, s'apparente au fonctionnement normal de jour réalisé chez l'utilisateur.

Un premier enseignement découle de l'examen de ces deux facteurs : il n'est pas possible de faire un dosage pondéral des aérosols tels qu'ils se dégagent dans une installation domestique. Il en résulte que la détermination de ces substances ne peut fournir qu'un indice des aérosols obtenus dans un essai de poêle conventionnel, mais reproductible. Sur la base de cet indice, il sera possible de comparer les divers combustibles entre eux et en particulier au charbon type qui est la noix anthraciteuse.

22. Méthodes de dosage des aérosols.

Les méthodes de détermination des goudrons et des suies sont loin d'être des procédés de mesure à caractère absolu. Elles possèdent toutes leurs avantages et inconvénients.

Précipitateur thermique.

Le principe de fonctionnement de cet appareil est de faire passer les fumées chargées de goudrons entre deux parois soumises à des températures différentes. L'agitation thermique créée au voisinage de la paroi chaude repousse les aérosols vers la cartouche froide.

Le gros avantage de cette méthode est de faire circuler les gaz sans pertes de charge, tout en réalisant le dépôt des aérosols sur une cartouche métallique, lisse et non hygroscopique, susceptible d'être pesée de façon précise. Par contre, il est nécessaire de faire circuler les gaz à faible vitesse afin de capter la totalité des goudrons; de ce fait, l'échantillonnage porte sur une très petite quantité de fumée et il est difficile d'éviter les dépôts en dehors de la cartouche de prélèvement.

Précipitateur électrostatique.

Grâce au champ électrique plus intense et plus localisé, le précipitateur électrostatique ne présente pas les inconvénients de la méthode par effet thermique, tout en ayant ses avantages. Il n'en reste pas moins que son efficacité peut être mise en doute, si les goudrons ne sont pas en fines gouttelettes. Cette condition exige un ajustement des températures tel que la condensation des hydrocarbures lourds se fasse totalement dans l'appareil lui-même et non pas dans le circuit reliant la cheminée au précipitateur. Le réglage est d'autant plus délicat qu'il faut maintenir durant tout

(1) Cette Norme Belge NBN 301 a été publiée le 27 février 1959.

le prélèvement une température interne supérieure à 100° C afin d'éviter la condensation de la vapeur d'eau qui causerait la détérioration de l'appareil.

Opacimètre optique.

La méthode repose sur la spectrométrie d'absorption en lumière visible. On compare l'intensité de deux faisceaux lumineux identiques dont l'un traverse l'air et l'autre les fumées contenant les vapeurs de goudrons. Les intensités lumineuses sortant de l'opacimètre sont reçues par deux cellules photoélectriques à couche d'arrêt montées en opposition. Par enregistrement de la force électromotrice photoélectrique, on détermine la loi d'évolution des aérosols émis durant un essai de combustion.

L'opacimètre optique a lui aussi l'avantage de ne pas créer des pertes de charges. Cependant, il ne peut résoudre le problème du dosage pondéral et doit être complété par une autre méthode qui fournit une détermination absolue des aérosols durant la période d'émission maximum. On obtient ainsi le facteur de proportionnalité entre taux d'aérosols et densité optique. Comme ce coefficient d'étalonnage est fonction de la nature des fumées, il est nécessaire de le calculer pour chaque type de combustible étudié. De plus, la nature des fumées varie dans le temps au cours d'un essai de combustion, ce qui conduit à un coefficient de multiplication variable tout au long de l'émission des goudrons. Si le coefficient est déterminé durant la période de dégagement maximum, on admet que l'imprécision n'est que du second ordre, car elle ne porte que sur des phases d'émissions comparativement faibles.

L'analyse spectrométrique par absorption impose que la substance à étudier soit sous une forme fluide homogène et, dans le cas présent, à l'état de phase gazeuse. Cette condition nécessite des précautions telles que le réchauffage du conduit de prélèvement entre la cheminée et l'opacimètre, tandis que le risque de condensation sur les parois de la cellule doit être évité par la présence d'une gaine d'air chaud.

Filtration.

Le dosage des goudrons et suies, par filtration, a l'avantage de faire appel à un matériel simple. Il présente cependant deux inconvénients : pertes de charges pouvant augmenter au fur et à mesure du dépôt de goudrons et utilisation de papier filtre généralement organique et par conséquent fortement hygroscopique. Ces défauts peuvent être aplanis par l'adoption d'une grande surface de passage et par le choix de papier filtre en fibre de verre peu hygroscopique et résistant à la chaleur.

23. Choix de la méthode de dosage.

Les méthodes que nous venons de décrire possèdent le point commun de ne pouvoir s'appliquer à l'analyse des goudrons sur la totalité des fumées de combustion. Elles doivent donc s'effectuer sur un échantillon de gaz prélevé de façon continue durant l'essai.

Comme toutes les méthodes possèdent leurs avantages et inconvénients, il s'agit de faire un choix.

Le précipitateur thermique s'élimine de lui-même en raison des dépôts incontrôlables en dehors de la cartouche de pesée. A première vue, l'opacimètre optique paraît séduisant du fait de l'obtention de la loi d'évolution, au cours du temps, des aérosols émis par le foyer. Malheureusement, il ne se suffit pas par lui-même et doit faire appel à un autre procédé de dosage pondéral.

Il reste en fin de compte le captage des aérosols par effet électrostatique ou par filtration. C'est ce dernier procédé que nous avons adopté. En effet, il est sans conteste celui qui utilise le matériel le plus simple pouvant se raccorder en n'importe quel point de la cheminée.

Or ceci est capital, car il nous a paru indispensable de prélever l'échantillon de fumées juste à la sortie du poêle. Les matières hydrocarbonées sont en cet endroit en concentration maximum et n'ont pas eu le temps d'être perturbées comme cela peut être le cas dans le conduit de la cheminée. On trouvera au chapitre 5 la description de l'appareillage utilisé; les opérations de dosage des aérosols et les précautions que cette détermination nécessite sont indiquées au paragraphe 6 consacré au mode opératoire d'un essai de combustion.

En plus du dosage quantitatif des aérosols, le contrôle des fumées a été effectué qualitativement durant la première heure de chaque essai, par pompage à intervalles réguliers de 5 min d'un volume déterminé de gaz à travers un papier filtre. L'appareil utilisé est une pompe du type Bacharach. Le prélèvement de gaz correspond à dix coups de pompe. L'observation colorimétrique de la densité de matières déposées sur le filtre rend compte, dans une certaine mesure, de l'évolution des aérosols émis.

3. CARACTERISTIQUES DES COMBUSTIBLES UTILISES

Les essais de combustion en poêle domestique ont porté sur plusieurs types de combustibles susceptibles d'être utilisés dans des foyers à feu continu. Le tableau I les classifie par nature et origine, ainsi que par leur analyse immédiate.

TABLEAU I : CARACTERISTIQUES DES COMBUSTIBLES

NATURE ET ORIGINE	ANALYSE IMMEDIATE					P.C.S. sur tel que (kcal/kg)	Poids spé- cifique ap- parent (g/cm ³)
	He	MV ^s	MV ^{''}	Cs	C's		
Boulets synthracite : boulets maigres au brai carbonisés	1,88	3,2	3,4	5,8	5,9	7430	1,22
Boulets carbonisés à base de 50 % gras B et 50 % maigre agglomérés à la lessive sulfiteuse	1,10	8,0	8,7	7,7	7,8	7340	1,04
Anthracite 30/50	1,10	10,4	11,0	5,8	5,9	7940	1,37
Boulets anthraciteux H-U agglomérés au suprakol C	1,00	10,4	11,0	5,7	5,8	7950	1,16
Boulets anthraciteux J agglomérés au suprakol C	1,75	10,5	11,0	4,8	4,9	7960	1,18
Boulets anthraciteux au brai J défumés 90 min le 27-10-60 Inichar . .	1,66	10,4	11,3	8,0	8,1	7520	1,24
Anthracine : boulets anthraciteux au brai défumés à Douai	1,20	10,7	11,4	6,2	6,3	7880	1,19
Boulets maigres au brai W défumés 90 min le 6-10-60 Inichar	1,85	12,8	13,9	8,2	8,4	7490	1,22
Boulets anthraciteux J agglomérés à l'urée formol	0,77	11,9	12,6	4,4	4,5	8080	1,18
Maigre 30/50	0,75	12,9	13,6	4,6	4,6	8070	1,35
Boulets anthraciteux au brai N-G défumés 60 min le 9-6-60 Inichar	1,37	10,0	11,1	9,8	10,0	7390	1,25
Boulets anthraciteux au brai C-J défumés 60 min le 29-9-60 Inichar	1,02	11,9	12,9	8,2	8,3	7560	1,24
Boulets maigres au brai W défumés 60 min le 4-10-60 Inichar	1,36	13,0	14,2	7,8	7,9	7560	1,22
Boulets anthraciteux au brai J	1,00	13,0	14,1	7,9	8,0	7770	1,27
Boulets au lignosulfite à base de 88 % de schlamm gras B flotté et de 12 % d'anthracite	1,84	24,5	26,9	8,7	8,9	7560	1,14

4. CHOIX DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Nous avons adopté un régime de marche du poêle voisin de l'allure nominale définie par la norme belge NBN 301. Suivant cette dernière, l'exécution d'un essai de combustion comprend deux parties : la constitution d'un feu de base et l'essai proprement dit.

La mise à feu préalable est réalisée sur une charge de 5 kg de combustible afin d'obtenir un poids de braises de 0,5 s, s étant la surface de la grille exprimée en dm².

Durant cette période, le tirage est maintenu à 1,5 mm d'eau de dépression à la cheminée. La constitution du feu de base a également comme but d'échauffer le poêle, les réfractaires garnissant intérieurement le foyer et les conduites métalli-

ques reliant le poêle à la cheminée. Lorsque la réserve de braises est assurée, on détermine le poids Pi de l'appareil qui correspond à l'état initial de l'essai proprement dit. Il est alors procédé au chargement de 5 kg de combustible et au relevé des mesures prescrites, tandis que le tirage est maintenu à 1,5 mm d'eau tout au long de l'essai. L'état final est obtenu lorsque le poids total de l'appareil est égal au poids Pi majoré du poids de cendres de la charge. La durée qui en résulte est variable et oscille autour de 220 min. Cette condition diffère de celle de la norme belge pour laquelle le temps de l'essai est fixé uniformément à 4 h. Dans le cas qui nous occupe, il n'est pas possible de réaliser une durée fixe puisque l'essai a pour but de doser les aérosols produits au cours de la combustion d'un poids déterminé de combustible.

5. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'installation d'essai est schématisée à la figure 1.

51. Poêle d'essai.

Le type de foyer continu adopté est un appareil avec combustion au travers de la masse. Le choix s'est porté sur le buffet Juno n° 5212. Il est garni intérieurement d'une couche en réfractaire de 2 cm

Température.

La température des fumées sortant du poêle est régulièrement contrôlée à l'aide d'un thermo-couple chromel Alumel et d'un galvanomètre dont la précision de lecture est de 5° C.

Dépression à la cheminée.

La mesure est effectuée au moyen d'un manomètre à tube incliné dont l'échelle est graduée en dixième de millimètre de colonne d'eau.

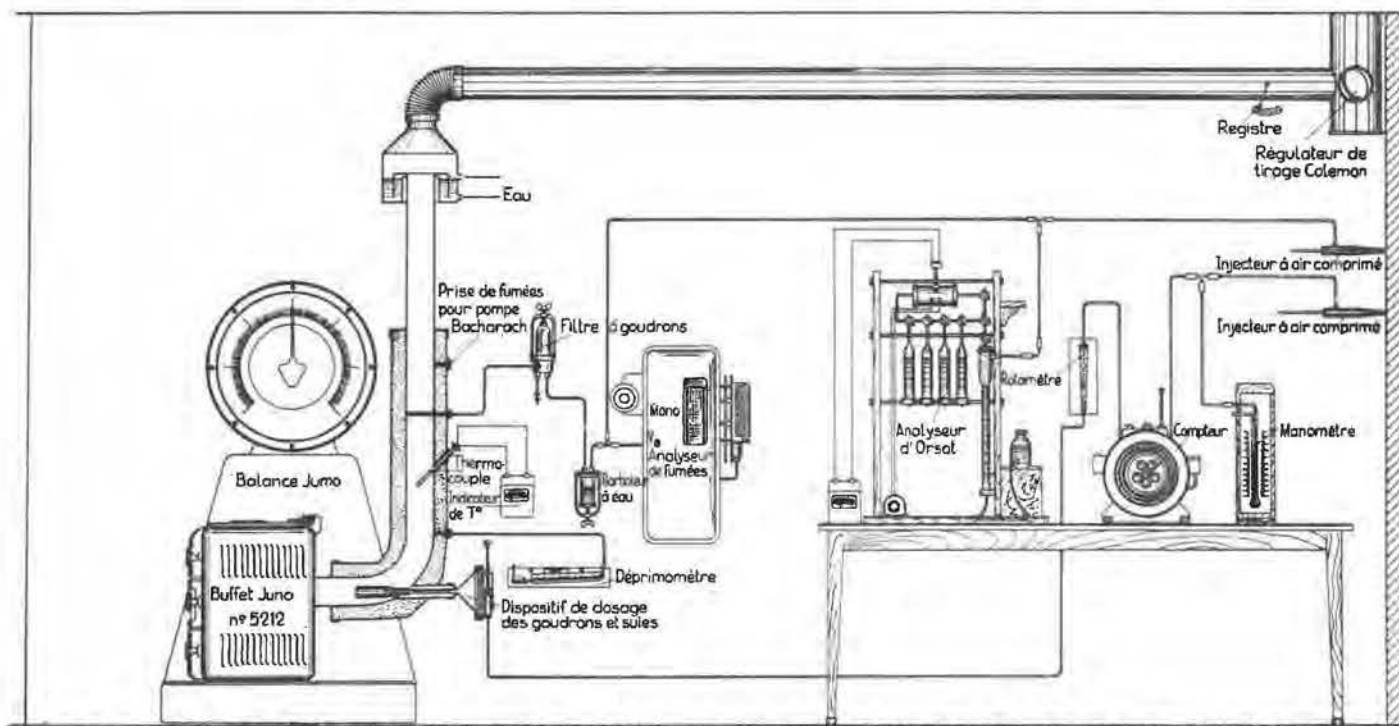


Fig. 1. — Dispositif expérimental.

environ d'épaisseur et a été conçu spécialement pour brûler des boulets fumeux.

La sortie du poêle est raccordée à une conduite calorifugée, sur laquelle sont montés les différents appareils de mesure.

La liaison du poêle avec la cheminée est réalisée par un joint hydraulique. Un registre actionné manuellement permet le réglage grossier du tirage, tandis qu'un clapet type Coleman, placé latéralement à la cheminée, agit automatiquement pour maintenir la dépression correcte, lorsque les conditions atmosphériques varient.

52. Appareils de mesure.

Pesées.

Le poêle est placé sur une bascule Juno (constructeur Dalimier à Sclessin) dont la précision de lecture est de 25 g et dont le cadran est gradué de 0 à 30 kg.

53. Analyse des fumées.

Une aspiration continue d'un petit débit de fumées est assurée par un éjecteur à air comprimé. Les gaz filtrés sur de l'ouate et lavés dans un barboteur à eau sont dérivés, soit vers l'analyseur Mono, soit vers l'appareil d'Orsat, tandis que l'excédent est rejeté à l'atmosphère.

L'appareil Mono du type duplex permet d'enregistrer l'allure de la combustion par le dosage simultané du CO_2 et de $\text{CO} + \text{H}_2$. Il est malheureusement influencé par la température régnant dans le laboratoire, laquelle provoque, lorsqu'elle varie, un décalage du zéro. On a remédié à cet inconvénient en dosant à l'appareil d'Orsat les fumées, prélevées toutes les 20 à 30 min. Ce complément d'analyse a également l'avantage de fournir la composition de tous les constituants du gaz et, en particulier, les hydrocarbures dégagés durant les 30 premières minutes de combustion.

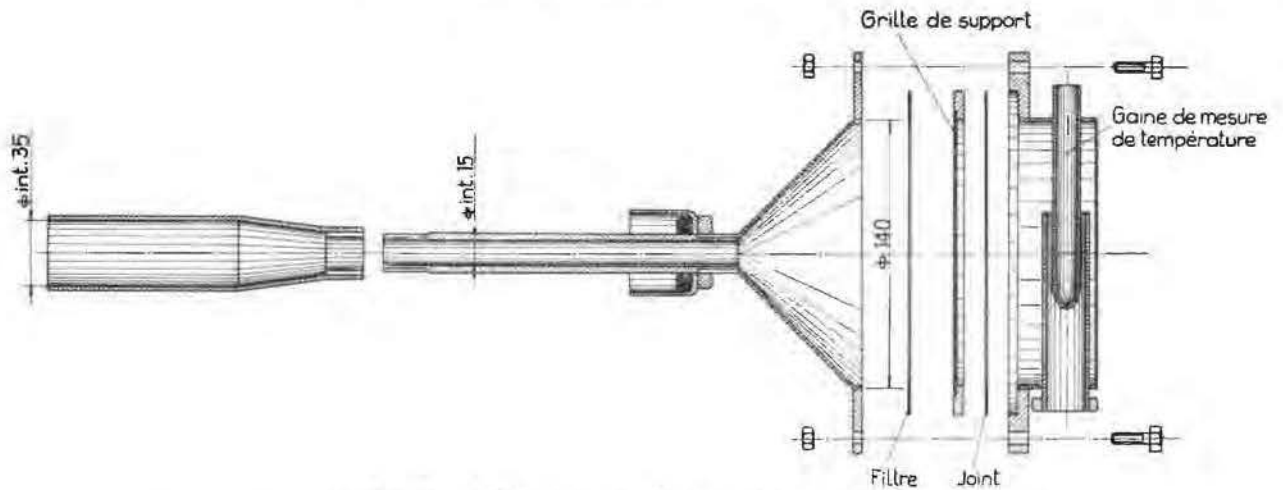


Fig. 2. — Appareil de dosage des goudrons et suies.

54. Dosage des goudrons et suies.

L'appareil utilisé à la filtration des aérosols contenus dans les fumées de combustion est schématisé à la figure 2. Il est constitué d'un entonnoir en acier inoxydable poli intérieurement, sur lequel vient se visser un embout tronconique, et d'une boîte cylindrique possédant dans sa partie interne un tube d'évacuation des gaz, entourant une gaine métallique dans laquelle plonge un thermomètre à mercure.

Le filtre en fibre de verre est placé entre les brides en acier inoxydable poli des deux parties du porte-filtre et posé sur un tamis métallique

également inoxydable, lequel s'emboîte dans la seconde partie de l'appareil. La surface de filtration de 154 cm² est assez grande pour éviter des pertes de charge trop élevées.

Une lampe infra-rouge permet de maintenir le porte-filtre au voisinage de 100 °C afin d'empêcher la condensation de la vapeur d'eau.

Le volume de gaz prélevé de façon continue est de l'ordre de 1/30 du débit total des fumées de combustion. Après filtration et refroidissement, ce débit est contrôlé au moyen d'un rotamètre et totalisé par un compteur humide, avant d'être rejeté à l'atmosphère par un éjecteur à air comprimé.

TABLEAU II : ANALYSE DES FUMÉES APRES 10 MINUTES DE COMBUSTION

Date de l'essai	TYPE DE COMBUSTIBLE	COMPOSITION DES FUMÉES EN %					
		CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂
22- 9-60	Synthracite	13,0	4,7	0,3	—	—	82,0
26-10-60	Boulets carbonisés Inichar . . .	12,0	4,5	1,4	0,5	—	81,6
9- 9-60	Anthracite 30/50 J	12,3	1,6	2,5	2,4	1,2	80,0
5- 4-61	Boulets H-U au suprakol . . .	12,4	2,2	2,0	2,0	0,4	81,0
24- 1-61	Boulets au suprakol	12,5	1,8	2,3	0,6	1,2	81,6
28-10-60	Boulets au brai J défumés 90 min	12,4	2,4	2,0	1,4	0,4	81,4
26- 9-60	Anthracine	11,1	3,7	1,2	0,6	0,4	83,0
13-10-60	Boulets au brai W défumés 90 min	11,6	5,4	0,3	0,2	—	82,5
15- 9-60	Boulets à l'urée formol	10,5	3,7	1,8	1,4	1,1	81,5
21-10-60	Maigre 30/50 W	13,2	1,7	1,6	1,5	0,7	81,3
5-10-60	Boulets au brai N-G défumés 60'	11,6	3,1	2,0	2,2	0,2	80,9
3-10-60	Boulets au brai C-J défumés 60'	12,0	2,4	2,9	3,0	0,6	79,1
24-10-60	Boulets au brai C-J défumés 60'	12,7	1,8	2,3	2,1	1,0	80,1
11-10-60	Boulets au brai W défumés 60'	12,6	1,7	3,0	2,5	0,9	79,3
2- 9-60	Boulets au brai J	11,6	2,4	2,7	1,0	2,7	79,6
7- 3-61	Boulets au schlamm gras B flotté	12,6	1,2	5,7	5,0	2,5	73,0

8. CONCLUSIONS

Le but de cette étude n'était pas la détermination rigoureuse des quantités de goudrons et de suies qui se dégagent dans une installation de poêle domestique, mais plutôt la mise au point d'une méthode de dosage simple et reproductible s'approchant le plus possible des conditions de marche de l'utilisateur.

Il semble que cet objectif soit atteint et que la méthode d'appréciation de la fumivorté conduite, pour chacun des combustibles, à des valeurs pouvant se comparer entre elles et plus particulièrement à la valeur de référence obtenue avec un anthracite naturel.

L'examen des résultats conduit aux observations suivantes :

— Les boulets cokéfiés se présentent comme des combustibles de choix brûlant pratiquement sans dégager de goudrons.

— L'anthracite et les boulets au brai défumés 90 min au four à sable peuvent concurrencer l'anthracite.

— Les taux en goudrons et suies des boulets au brai défumés 60 min au four à sable sont du même ordre que ceux du charbon maigre.

— Les boulets au brai et les agglomérés au lignosulfite, à base de schlamms gras, émettent des quantités de goudrons dix fois supérieures à celles d'un charbon anthraciteux.

Le complément d'étude relatif aux rendements thermiques met en évidence les très faibles pertes par imbrûlés solides observées lors de la combustion des boulets au brai défumés. Il semble que ces agglomérés possèdent une tenue au feu supérieure à celle de charbons domestiques habituels et surtout à celle des agglomérés produits à l'aide de liants non fumeux.

Les boulets à base de schlamms gras B flottés, agglomérés au lignosulfite, brûlent sans collage, mais en un temps très court et avec des pertes par imbrûlés gazeux qui ramènent le rendement thermique au voisinage de 60 %.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] INSTITUT BELGE DE NORMALISATION, Norme NBN 301 sur les poêles métalliques à combustible minéral solide. 2^e édition, avril 1959.
- [2] P. DUMOUTET et R. CHAUVIN. Essais de combustibles en poêles domestiques. Cerchar - Note technique 4/56.