

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 586 086

②1 N° d'enregistrement national :

85 12106

⑤1 Int Cl⁴ : F 23 B 5/00; F 23 G 5/24, 7/10; F 23 L 1/02,
9/02.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 7 août 1985.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOP « Brevets » n° 7 du 13 février 1987.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société anonyme dite : ELF FRANCE et
Société à responsabilité limitée dite : ETS Maurice RAT &
Fils. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Olivier Beaumont et Yves Rat.

⑦3 Titulaire(s) :

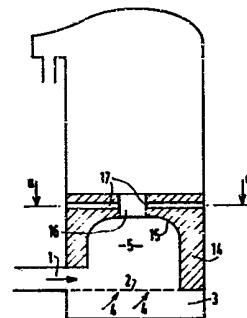
⑦4 Mandataire(s) : Philippe Cavois

⑤4 Dispositif de combustion de combustibles solides.

⑤7 Dispositif de combustion de combustibles solides tels que
le charbon, la lignite et la tourbe, le bois l'écorce, la sciure, la
paille, la canne de Provence, les rafles de maïs ou d'autres
sous-produits agricoles et des ordures ménagères comprenant
essentiellement une chaudière à foyer vertical cylindrique.

Ce dispositif est caractérisé en ce que le diamètre du
revêtement réfractaire est, à sa partie supérieure, fortement
réduit de façon à former une cloison comportant en son centre
une perforation et, dans les bords de cette perforation débou-
chent des arrivées d'air secondaire.

Combustion de combustibles solides tels que le charbon, la
lignite et la tourbe, le bois, l'écorce, la sciure, la paille, la canne
de Provence, les rafles de maïs ou d'autres sous-produits
agricoles et des ordures ménagères.



FR 2 586 086 - A1

D

La présente invention concerne un dispositif de combustion de combustibles solides tels que le charbon, la lignite et la tourbe, le bois, l'écorce, la sciure, la paille, la canne de Provence, les rafles de maïs ou d'autres sous-produits agricoles et des ordures ménagères, comprenant essentiellement une chaudière à foyer vertical cylindrique équipée à sa base d'une grille ou sole par laquelle on introduit l'air primaire de combustion, la partie inférieure du foyer étant entourée d'un revêtement réfractaire.

Les combustibles cités ci-dessus sont disponibles à des prix intéressants mais le matériel de combustion permettant de les utiliser est généralement cher, encombrant et donc non compatible avec de nombreux sites potentiels, ou encore ont des performances insuffisantes : combustion imparfaite, incompatibilité avec des combustibles très humides, nécessite d'accepter un excès d'air de combustion très élevé.

On connaît des chaudières verticales à tube foyer et tubes de fumée ; dans ces matériels la combustion est réalisée sur une grille ou sole située en bas du tube foyer et à travers laquelle est injectée l'air primaire de combustion. L'injection d'air secondaire est faite sur la périphérie du foyer, au-dessous de la couche de combustible. Dans certaines versions, le bas du tube foyer est garni d'un revêtement réfractaire adoptant la forme d'un tronc dont le rayonnement permet l'utilisation de bois relativement humide (jusqu'à 45% par rapport au poids brut).

On connaît également des réalisations dans lesquelles le revêtement réfractaire comporte en sa partie haute une partie légèrement surplombante par rapport au foyer.

Dans tous ces dispositifs, la combustion a lieu presque essentiellement sur la grille ou la majeure partie de l'air de combustion (150% de la stoechiométrie) est apportée sous forme d'air primaire.

Les fumées s'élèvent ensuite lentement dans le tube foyer, du fait de la large section de celui-ci et

l'injection d'air secondaire (représentant une faible partie de l'air total et se faisant depuis la périphérie du foyer) ne provoque pas un brassage énergique des gaz permettant une combustion complète avec excès d'air limité.

5 Cette façon d'opérer la combustion des biomasses est inadaptée à leurs propriétés : en effet ces combustibles possèdent un taux de matières volatiles élevé (80% de la matière sèche) qui se dégagent spontanément lors de l'échauffement.

10 L'air étant introduit sous la grille et les matières volatiles se dégagent au-dessus de la grille, le mélange de l'air et des matières volatiles est imparfait et il est difficile d'obtenir une combustion complète.

15 Enfin, du fait que toute la combustion est réalisée au voisinage de la grille, il ne se développe pas dans la partie haute, une flamme importante, susceptible de rayonner énergiquement sur les parois du tube foyer et d'assurer une fraction importante de l'échange par rayonnement. Cette carence doit donc être compensée en
20 aval par la présence d'un échangeur tubulaire important, encombrant et coûteux.

Le but de la présente invention est de procurer un dispositif et un procédé de combustion de ces combustibles solides qui remédie à ces inconvénients, permet d'utiliser
25 pour la combustion une quantité d'air très voisine de la stoechiométrie dans une installation extrêmement compacte.

A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de combustion de combustibles solides tels que le charbon, la lignite et la tourbe, le bois, l'écorce, la
30 sciure, la paille, la canne de Provence, les rafles de maïs ou d'autres sous-produits agricoles et des ordures ménagères comprenant essentiellement une chaudière à foyer vertical cylindrique équipé à sa base d'une grille ou sole par laquelle on introduit l'air primaire de combustion, la
35 partie inférieure du foyer étant entourée d'un revêtement réfractaire et sa partie supérieure constituant une zone de combustion secondaire à laquelle sont raccordés des tubes de fumée, caractérisé en ce que le diamètre du revêtement réfractaire est, à sa partie supérieure, fortement réduit

de façon à former une cloison comportant en son centre une perforation et, dans les bords de cette perforation, débouchent des arrivées d'air secondaire.

5 Par rapport aux réalisations antérieures, ce dispositif représente une simplification du fait que l'on reporte toutes les arrivées d'air secondaire au niveau du rétrécissement qui forme ainsi un réel ajûtage de brûleur.

10 Selon une autre caractéristique de l'invention les embouchures des arrivées d'air secondaire ont une orientation totalement ou partiellement tangentielle par rapport à la perforation centrale.

15 Selon encore une autre caractéristique de l'invention la perforation centrale est partiellement obturée par un noyau central qui laisse aux gaz un passage annulaire et les arrivées d'air secondaire débouchent dans les bords de cette perforation et/ou dans les bords du disque central.

20 Pour se servir de ce dispositif de façon optimum et conforme à l'invention, pour brûler un combustible dont la proportion d'humidité est inférieure à 25 %, on souffle par la sole une fraction d'air primaire égale de 55 à 80% de la stoechiométrie et, par les arrivées d'air secondaire une fraction d'air secondaire égale à 70 à 50% de la stoechiométrie, la vitesse des gaz provenant de la zone de combustion primaire et passant par la perforation centrale étant d'au moins 8m/s et étant de préférence comprise entre 10 et 15 m/s et la vitesse de soufflage par les embouchures des arrivées d'air secondaire étant d'au moins 25 m/s et étant de préférence comprise entre 30 et 40 m/s.

30 Le procédé selon l'invention est tout à fait adapté à la combustion de produits très humides et, pour brûler un combustible dont la proportion d'humidité est comprise entre environ 25 et 40% d'humidité, on souffle une fraction d'air primaire égale à 60 à 90% de la stoechiométrie et une fraction d'air secondaire égale à 80 à 50% de la stoechiométrie et pour brûler un combustible dont la proportion d'humidité est supérieure à 40 % on souffle une fraction d'air primaire égale à 80 à 140% de la stoechiométrie et une fraction d'air secondaire égale à 80 à 50 %

de la stœchiométrie. On parvient ainsi à brûler les combustibles les plus variés allant du charbon au bois vert et même aux écorces ramassées tout imbibées d'eau sur les chantiers d'abattage.

5 Selon une caractéristique particulièrement intéressante de l'invention, on injecte l'air secondaire dans la perforation ou rétrécissement de façon partiellement tangentielle pour entraîner en rotation les gaz issus du foyer, les conditions d'écoulement étant
10 définies par un nombre addimensionnel S dit de "Swirl" qui mesure le rapport entre le moment cinétique de rotation M_r et l'impulsion I selon la formule

$$S = \frac{M_r}{IR_G}$$

15

dans laquelle $M_r = R \times DA_2 \times W_2$ et,

$$I = D_G \times W_G$$

R_G est le rayon de la perforation centrale

R est le rayon du petit cercle tangent à l'axe des arrivées
20 d'air secondaire.

DA_2 est le débit massique d'air secondaire en kg/s.

D_G est le débit massique des gaz issus du foyer en kg/s.

W_{A2} est la vitesse d'injection de l'air secondaire en m/s.

W_G est la vitesse des gaz issus du foyer à l'endroit du
25 rétrécissement en m/s, et :

$$0,5 < S < 1,5$$

Ce mouvement tourbillonnant améliore le mélange des gaz mais la force centrifuge à laquelle il donne naissance a également pour effet d'élargir la base de la
30 flamme et de la raccourcir, ce qui permet d'adapter la forme de la flamme à la géométrie de la chaudière, celle-ci pouvant par exemple être beaucoup moins haute qu'une chaudière de même puissance nominale mais conçue selon l'art antérieur. Cet étalement de la flamme provoqué par le
35 "Swirl" est d'ailleurs accompagné par une certaine recirculation des gaz vers le bas dans la zone de combustion secondaire, ce qui améliore encore la qualité de la combustion et de l'échange de chaleur dans cette zone.

On voit donc que la manière dont se déroule la combustion est profondément modifiée. Alors que, dans l'art antérieur, on a une combustion en une seule étape dans le foyer, le dispositif selon l'invention réalise une combustion étagée. L'air primaire étant insuffisant pour assurer une combustion complète, il se produit une gazéification du combustible qui donne naissance à des gaz combustibles d'un pouvoir calorifique élevé, de l'ordre de 3 350 à 6 300 Kjoules/m³. L'adjonction d'air secondaire permet la combustion de ces gaz comme dans un brûleur classique.

Les gaz combustibles arrivent au rétrécissement à une vitesse d'air moins 8 m/s et, à ce niveau, on injecte l'air secondaire à une vitesse élevée, comprise entre 25 et 40 m/s. L'air secondaire ayant peu de distance à parcourir pour pénétrer dans le flux ascendant de gaz, on obtient immédiatement un brassage et un excellent mélange des gaz, une combustion très complète avec un excès d'air réduit et, de ce fait, une concentration calorifique très importante. La flamme créée rayonne intensément et une fraction importante (équivalente à 35 à 50 % de la puissance de la chaudière) de l'échange thermique est réalisée dans la zone de combustion secondaire. Il est aussi intéressant de noter que toutes les matières volatiles dégagées dans le foyer sont brûlées à ce niveau et contribuant d'autant moins à la formation ultérieure de suies et d'encrassement des tubes de fumée.

La disposition tangentielle des injections de gaz permet en outre d'adapter la forme de la flamme à la géométrie de la chaudière. Le "swirl" permet en effet d'élargir la base de la flamme et de la raccourcir. Par ailleurs, le "swirl" provoque la recirculation des gaz au sein de la flamme et permet d'améliorer encore la qualité de la combustion.

L'utilisation d'une pièce centrale dans le rétrécissement permet, dans les foyers de grande puissance, d'assurer une section de passage suffisante sans augmenter trop la distance de pénétration des jets.

Les spécialistes apprécieront le caractère monobloc et compact de cette chaudière qui la rend particulièrement économique.

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description non limitative ci-après accompagnée de dessins dans lesquels :

la Fig. 1 est une vue en coupe de la zone de combustion d'une chaudière selon l'art antérieur,

la Fig. 2 est une vue en coupe de la partie essentielle de la chaudière selon l'invention,

la Fig. 3 est une vue de dessus en coupe selon la ligne a-a de la Fig.2,

la Fig. 4 est une vue de face en coupe d'un autre mode de réalisation de l'invention et

la Fig. 5 est une vue de face en coupe d'un autre mode de réalisation de l'invention.

Sur la Fig. 1 représentant partiellement une chaudière selon l'art antérieur, le combustible est introduit par le bas de la chaudière dans le sens de la flèche 1 sur la grille ou sole 2 traversée par de l'air primaire provenant du caisson 3 suivant le sens des flèches 4. Le combustible brûle dans le foyer 5 constituant la zone inférieure de la chambre de combustion entourée d'un revêtement réfractaire, soit cylindrique 6, soit présentant une légère sur épaisseur 7 à sa partie supérieure. Dans ce revêtement réfractaire 6 ou 7 sont pratiquées, à deux niveaux différents, des arrivées d'air secondaire, 8, 9, 10, 11. Dans une telle chaudière la majeure partie de l'air de combustion est apportée sous forme d'air primaire dans une proportion pouvant atteindre 150% de la stoechiométrie. Les fumées s'élèvent ensuite sans subir d'accélération sensible et l'injection à deux niveaux de l'air secondaire ne provoque qu'un faible brassage des gaz et souvent ne suffit pas à assurer rapidement une combustion complète au niveau proche des injecteurs. Il y a donc, jusque dans la chambre de combustion 12 et les tubes de fumées 13, un allongement excessif de la flamme accompagné d'un refroidissement et donc d'une extinction prématurée avant l'achèvement de la

combustion. La formation de suies et les pertes de rendement sont les conséquences plus ou moins visibles de ces défauts.

La Fig. 2 représente le dispositif selon l'invention dans lequel le bois est introduit par le bas de la chaudière comme dans celle décrite ci-dessus, les pièces identiques ayant les mêmes références. Le revêtement réfractaire 14 de la présente chaudière se distingue par son élargissement important 15 qui délimite un rétrécissement ou perforation 16 entrée sur l'axe vertical de la chaudière. Cette perforation permet la sortie des gaz issus du foyer. Elle est pourvue de plusieurs orifices d'injection d'air secondaire 17.

Les orifices d'injection d'air secondaire sont donc tous ramenés dans un plan horizontal au niveau de la perforation 16. Leur disposition peut être radiale mais elle est de préférence partiellement tangentielle, voir Fig. 3. On y a schématiquement représenté quatre injections 17 dont l'axe est tangent à un cercle (immatériel) de rayon R inférieur au rayon R_G de la perforation 16. Le caractère partiellement tangent est donné par la longueur du rayon R : l'injection est radiale si $R = 0$ et totalement tangentielle si $R = R_G$.

La figure 4 représente en coupe la variante de l'invention dans laquelle le rétrécissement 18 de passage des gaz du foyer à la chambre est annulaire. Il est délimité d'une part par le revêtement réfractaire 19 et d'autre part par un noyau central 20 maintenue par des bras 21. Les injections d'air 22 sont de préférence partiellement tangentielles.

La figure 5 représente un mode de réalisation de l'invention, selon lequel le revêtement réfractaire est constitué de plusieurs pièces moulées préfabriquées 23 formant la partie basse et d'une partie en béton 24 coulée sur place. Celle-ci vient noyer la structure métallique d'amenée d'air constituée d'un collecteur 25, des tubes d'injections 26 et d'une gaine 27 sur laquelle vient s'adapter le ventilateur 28.

Il faut encore souligner que ce rétrécissement important modifie à lui seul profondément la nature de la chaudière comme jusqu'à maintenant et la transforme en un véritable "brûleur" à bois. Comme dans un brûleur en effet
5 on règle facilement en réponse aux exigences des combustibles utilisés les débits respectifs d'air primaire et secondaire, la hauteur et le diamètre de la flamme, ce qui permet d'utiliser au mieux le rayonnement de la flamme et, pour obtenir une même puissance, de réduire les
10 dimensions de la chaudière à construire.

15

20

25

30

35

REVENDEICATIONS

- 1 - Dispositif de combustion de combustibles solides tels que le charbon, la lignite et la tourbe, le bois, l'écorce, la sciure, la paille, la canne de Provence, les rafles de maïs ou d'autres sous-produits agricoles et des ordures ménagères comprenant essentiellement une chaudière à foyer vertical cylindrique équipé à sa base d'une grille ou sole par laquelle on introduit l'air primaire de combustion, la partie inférieure du foyer étant entourée d'un revêtement réfractaire et sa partie supérieure constituant une zone de combustion secondaire à laquelle sont raccordés de tubes de fumées, caractérisé en ce que le diamètre du revêtement réfractaire est, à sa partie supérieure, fortement réduit de façon à former une cloison comportant en son centre une perforation et, dans les bords de cette perforation débouchent des arrivées d'air secondaire.
- 2 - Dispositif de combustion selon la revendication 1, caractérisé en ce que les embouchures des arrivées d'air secondaire ont une orientation totalement ou partiellement tangentielle par rapport à la perforation centrale.
- 3 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la perforation centrale est partiellement obturée par un noyau central qui laisse aux gaz un passage annulaire et les arrivées d'air secondaire débouchent dans les bords de cette perforation et/ou dans les bords du disque central.
- 4 - Procédé mis en oeuvre dans le dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que pour brûler un combustible dont la proportion d'humidité est inférieure à 25%, on souffle par la sole une fraction d'air primaire égale de 55 à 80% de la stoechiométrie et, par les arrivées d'air secondaire une fraction d'air secondaire égale à 70 à 50% de la stoechiométrie, la vitesse des gaz provenant de la zone de combustion primaire et passant par la

- perforation centrale étant d'au moins 8m/s et étant de préférence comprise entre 10 et 15 m/s et la vitesse de soufflage par les embouchures des arrivées d'air secondaire étant d'au moins 25 m/s et étant de préférence comprise entre 30 et 40 m/s.
- 5 - Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que, pour brûler un combustible dont la proportion d'humidité est comprise entre environ 25 et 40% d'humidité, on souffle une fraction d'air primaire égale à 60 à 90% de la stœchiométrie et une fraction d'air secondaire égale à 80 à 50% de la stœchiométrie.
- 6 - Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que, pour brûler un combustible dont la proportion d'humidité est supérieure à 40% on souffle une fraction d'air primaire égale à 80 à 140% de la stœchiométrie et une fraction d'air secondaire égale à 80 à 50% de la stœchiométrie.
- 7 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 6 caractérisé en ce que l'on injecte l'air secondaire dans la perforation ou rétrécissement de façon partiellement tangentielle pour entraîner en rotation les gaz issus du foyer, les conditions d'écoulement étant définies par un nombre addimensionnel S dit de "Swirl" qui mesure le rapport entre le moment cinétique de rotation M_r et l'impulsion I selon la formule

$$S = \frac{M_r}{IR_G}$$

- dans laquelle $M_r = R \times DA_2 \times W_2$ et,
 $I = D_G \times W_G$
 R_G est le rayon de la perforation centrale
R est le rayon du petit cercle tangent à l'axe des arrivées d'air secondaire.
- DA_2 est le débit massique d'air secondaire en kg/s.
 D_G est le débit massique des gaz issus du foyer en kg/s.

W_{A2} est la vitesse d'injection de l'air secondaire en m/s.

W_G est la vitesse des gaz issus du foyer à l'endroit du rétrécissement en m/s, et :

$$0,5 < S < 1,5$$

2/2

