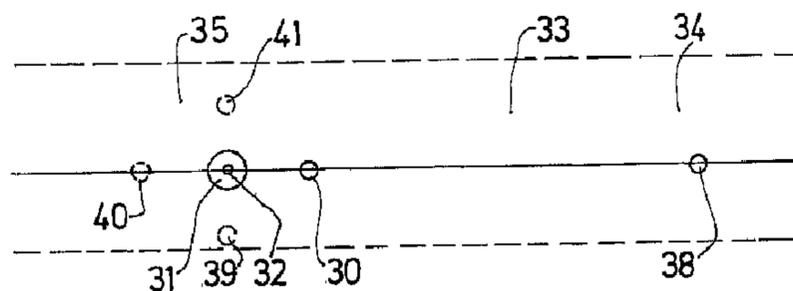




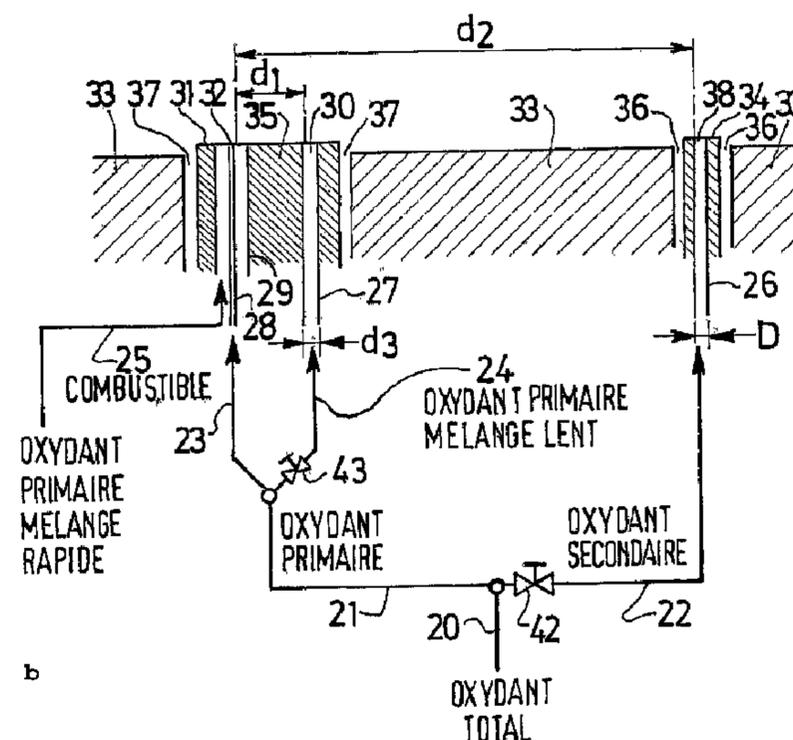
(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2002/04/04  
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2002/10/17  
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2003/10/02  
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2002/001170  
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2002/081967  
 (30) Priorité/Priority: 2001/04/06 (01/04738) FR

(51) Cl.Int.<sup>7</sup>/Int.Cl.<sup>7</sup> F23D 14/22, F23D 14/66, F23D 14/60,  
F23D 17/00, F23D 14/32, F23C 11/04, F23C 6/04,  
F23C 7/02  
 (71) Demandeur/Applicant:  
L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME A DIRECTOIRE  
ET CONSEIL DE SURVEILLANCE POUR L'ETUDE  
ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES  
CLAUDE, FR  
 (72) Inventeurs/Inventors:  
DUGUE, JACQUES, FR;  
LEGIRET, THIERRY, FR;  
TSIAVA, REMI PIERRE, FR;  
LOUEDIN, OLIVIER, FR  
 (74) Agent: OGILVY RENAULT

(54) Titre : PROCEDE DE COMBUSTION COMPORTANT DES INJECTIONS SEPARÉES DE COMBUSTIBLE ET  
D'OXYDANT ET ENSEMBLE BRULEUR POUR LA MISE EN OEUVRE DE CE PROCEDE  
 (54) Title: COMBUSTION METHOD COMPRISING SEPARATE INJECTIONS OF FUEL AND OXIDANT AND BURNER  
ASSEMBLY THEREFOR



a



b

(57) Abrégé/Abstract:  
L'invention concerne un procédé de combustion et le brûleur pour sa mise en oeuvre. Les combustibles et comburants sont injectés séparément : Le comburant est séparé en deux parties distinctes, l'oxydant secondaire, qui sert à l'étagement de la

(57) **Abrégé(suite)/Abstract(continued):**

flamme, et l'oxydant primaire qui est lui-même séparé en deux injections distinctes, l'une, l'oxydant primaire à mélange rapide qui est injecté dans le combustible, l'autre, l'oxydant primaire à mélange lent, qui est injecté à faible distance du précédent.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international(43) Date de la publication internationale  
17 octobre 2002 (17.10.2002)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 02/081967 A1(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
F23D 14/22, 14/32, F23C 6/04, 7/02, 7/02,  
F23D 17/00, 14/60, 14/66, F23C 11/04(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : L'AIR  
LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME A DIRECTOIRE  
ET CONSEIL DE SURVEILLANCE POUR L'ÉTUDE  
ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDES GEORGES  
CLAUDE [FR/FR]; 75, quai d'Orsay, F-75321 Paris  
Cedex 07 (FR).(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR02/01170

(22) Date de dépôt international : 4 avril 2002 (04.04.2002)

(72) Inventeurs; et

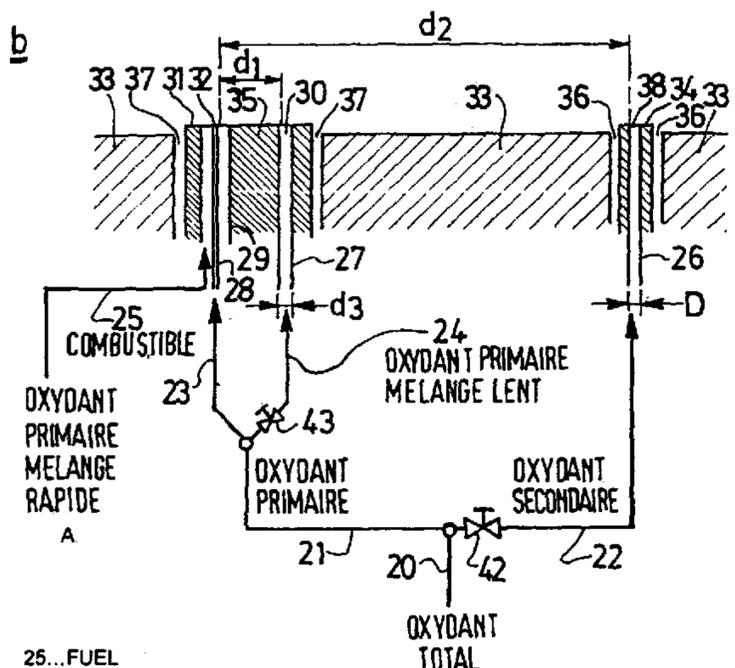
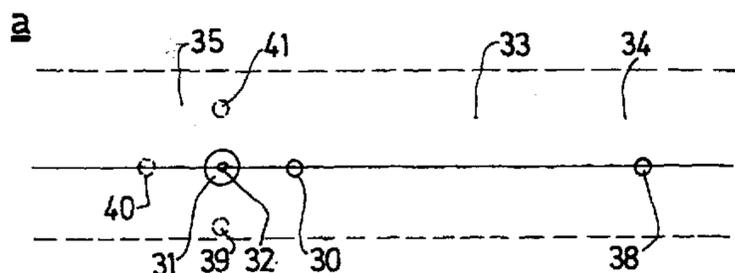
(25) Langue de dépôt : français

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : DUGUE,  
Jacques [FR/FR]; 30, rue de Bougainville, F-78180 Mon-  
tigny-le-Bretonneux (FR). LEGIRET, Thierry [FR/FR];  
36, rue Lucien Rougerie, F-78117 Toussus le Noble (FR).  
TSIAVA, Rémi, Pierre [FR/FR]; 71, rue André Breton,  
F-91250 St Germain les Corbeil (FR). LOUEDIN, Olivier

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
01/04738 6 avril 2001 (06.04.2001) FR

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: COMBUSTION METHOD COMPRISING SEPARATE INJECTIONS OF FUEL AND OXIDANT AND BURNER  
ASSEMBLY THEREFOR(54) Titre : PROCÉDE DE COMBUSTION COMPORTANT DES INJECTIONS SÉPARÉES DE COMBUSTIBLE ET D'OXY-  
DANT ET ENSEMBLE BRÛLEUR POUR LA MISE EN ŒUVRE DE CE PROCÉDE25...FUEL  
24...SLOW-MIXING PRIMARY OXIDANT  
21...PRIMARY OXIDANT  
22...SECONDARY OXIDANT  
20...TOTAL OXIDANT  
A...FAST-MIXING PRIMARY OXIDANT(57) Abstract: The invention concerns a combustion method and the  
burner for its implementation. The fuel and the oxidant are injected  
separately. The fuel is separated into two distinct parts, the secondary  
oxidant, which serves to stage the flame, and the primary oxidant  
which is itself separated into two distinct injections, one, the fast  
mixing primary oxidant which is injected into the fuel, the other, the  
slow mixing primary oxidant which is injected at short distance from  
the previous one.(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de combustion et  
le brûleur pour sa mise en oeuvre. Les combustibles et comburants  
sont injectés séparément : Le comburant est séparé en deux parties  
distinctes, l'oxydant secondaire, qui sert à l'étagement de la flamme,  
et l'oxydant primaire qui est lui-même séparé en deux injections  
distinctes, l'une, l'oxydant primaire à mélange rapide qui est injecté  
dans le combustible, l'autre, l'oxydant primaire à mélange lent, qui  
est injecté à faible distance du précédent.

WO 02/081967 A1



[FR/FR]; 15, Avenue de Bougainvillé, F-91650 Breuillet (FR).

européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(74) **Mandataires : VESIN, Jacques** etc.; L'Air Liquide, 75, quai d'Orsay, F-75321 Paris Cedex 07 (FR).

(81) **États désignés (national)** : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

**Déclaration en vertu de la règle 4.17 :**

— *relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii) pour toutes les désignations*

**Publiée :**

— *avec rapport de recherche internationale*

(84) **États désignés (régional)** : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

Procédé de combustion comportant des injections séparées de combustible et d'oxydant et ensemble brûleur pour la mise en œuvre de ce procédé

La présente invention concerne un procédé de combustion dans un four dans lequel on injecte séparément au moins un combustible et au moins un oxydant, le jet d'oxydant comportant un jet d'oxydant primaire et un jet d'oxydant secondaire, le jet d'oxydant primaire étant injecté à proximité du combustible de manière à engendrer une première combustion incomplète, les gaz issus de cette première combustion comportant encore au moins une partie du combustible, tandis que le jet d'oxydant secondaire est injecté à une distance du jet de combustible qui est supérieure à la distance entre le jet de combustible et le jet d'oxydant primaire le plus proche du jet de combustible, de manière à entrer en combustion avec le combustible présent dans les gaz issus de la première combustion. L'invention concerne également un ensemble brûleur pour la mise en œuvre d'un tel procédé.

Les performances d'un système de combustion dans un four industriel sont caractérisées par au moins deux facteurs :

- Les rejets de polluants atmosphériques (NOx, poussières...) qui doivent être en quantité inférieure à la limite fixée par la législation,

- La température des parois du four et de la charge à chauffer qui doit être située entre deux limites en relation avec les besoins du procédé en terme de qualité de produit et consommation énergétique.

L'évolution de la législation sur les émissions de polluants atmosphériques, notamment les oxydes d'azote et

les poussières, ont conduit récemment à une évolution importante des technologies de combustion.

Au delà du besoin de minimiser l'émission de polluants, la mise en œuvre de la combustion dans un four industriel doit être adaptée à la fonction du four.

Par exemple, un four de production de verre doit respecter des caractéristiques de température de parois et de bain afin d'éviter d'éventuels défauts de qualité du produit (bulles, etc...), ainsi que le vieillissement prématuré des surfaces réfractaires.

Dans un four de réchauffage de billettes d'acier, les billettes doivent être chauffées d'une façon uniforme afin d'éviter leur déformation avant l'entrée dans le laminoir.

Dans un four de fusion de produits métalliques (ferreux ou non), un chauffage uniforme doit être assuré le long de la charge afin de limiter une augmentation de la consommation d'énergie et l'usure prématurée des réfractaires.

Le contrôle du champ de températures (c'est à dire de la plage de températures entre lesquelles celle-ci peut varier) dans un four industriel est donc essentiel pour la qualité du produit et la performance du procédé. Le champ de température des surfaces réfractaires et de la charge le long de l'axe principal d'un four dépend du nombre, de l'espacement et de la distribution de puissance des brûleurs placés perpendiculairement à cet axe. Ceci est le cas par exemple des fours de réchauffage de billettes, ainsi que des fours de verre dans lesquels des brûleurs sont situés de part et d'autre de la charge. Le champ de température le long de l'axe parallèle à la flamme dépend de la longueur, de la puissance et de

l'impulsion de la flamme, ainsi que de la géométrie de la zone à chauffer.

Il est connu, par exemple de US-A-4,531,960 et US-A-4,604,123, de moduler la longueur d'une flamme oxygène en utilisant un jet d'air « en rotation » (ou « swirl » en anglais) autour de l'axe de la flamme. Ce paramètre a une influence forte sur la longueur et la stabilité de la flamme. Un autre paramètre qui peut être contrôlé est le degré d'étagement de l'oxydant ou du combustible (fraction de débit introduit séparément de la zone de combustion primaire). Des brûleurs à combustion dite étagée sont par exemple décrits dans les brevets US-A-4,622,007, US-A-4,642,047, US-A-4,797,087, US-A-4,718,643 et Re.33,464, ou l'on décrit notamment l'utilisation de l'air et de l'oxygène comme comburants.

Les brûleurs utilisant de l'oxygène comme comburant, et en particulier les brûleurs utilisant un combustible gazeux, n'offrent généralement pas la possibilité, pour une puissance et facteur d'oxygène donnés, de faire varier de façon continue les caractéristiques de longueur ou d'impulsion de la flamme. De tels brûleurs sont par exemple décrits dans US-A-5,772,427, US-A-5,934,893 et US-A-5,984,667, US-A-6,068,468). Toutefois, il est possible de modifier la longueur de la flamme de tels brûleurs par le changement des injecteurs de combustibles. Il est à noter que l'utilisation d'injecteurs de plus petit diamètre engendre une augmentation de la quantité de mouvement, et donc le raccourcissement de la flamme ainsi que le déplacement du maximum de flux thermique vers l'aval (et vice-versa). La Figure 1 qui illustre la longueur de flamme visible et le flux thermique axial d'un brûleur d'une puissance de

1MW décrit dans US-A-5,772,427 et US-A-5,934,893 montre  
clairement ce résultat. Inversement, le raccourcissement  
de la flamme et l'augmentation de l'impulsion totale ont  
a priori des effets opposés sur le déplacement du profil  
5 thermique de la flamme. La combinaison des deux phénomènes  
cause le recul vers l'aval du flux thermique maximum  
parce que l'un des deux effets est dominant. L'abscisse  
de la figure 1 est comptée à partir de la paroi interne  
du four coïncidant avec la face interne du brûleur. La  
10 direction aval est donc vers les longueurs axiales  
croissantes.

Il est également connu de US-A-5,302,112, d'injecter  
des gaz à vitesses différentes dans un four, les  
variations de vitesses (absolues et relatives) permettant  
15 de faire varier la longueur de flamme et l'impulsion (ou  
quantité de mouvements de celle-ci).

Il est également connu de US-A-5,346,524 d'injecter  
séparément le combustible et l'oxydant en utilisant des  
injecteurs séparés, disposés alternativement, à proximité  
20 les uns des autres, à une distance de l'ordre de 15 cm.

Le brevet US-A-5,601,425 décrit un système de  
combustion étagée dans laquelle du fioul liquide est  
injecté au centre d'un jet d'oxygène périphérique, tandis  
que de l'air est injecté à une distance assez élevée de  
25 l'oxygène.

L'objet de l'invention est de répondre au double  
besoin de l'optimisation du profil thermique le long de  
l'axe de la flamme et de la minimisation des émissions  
d'oxydes d'azote.

30 Le procédé selon l'invention permet notamment  
l'ajustement de la performance d'une flamme à  
l'environnement dans lequel elle est placée, ceci en

terme de profil thermique du four et de la charge, longueur de flamme, émission d'oxydes d'azotes et poussières.

Le procédé selon l'invention est caractérisé en ce que le jet d'oxydant primaire est lui-même divisé en au moins deux jets primaires, au moins un premier jet d'oxydant primaire à mélange rapide, injecté dans le jet de combustible ou au contact du jet de combustible, de manière à provoquer rapidement une réaction de combustion avec le combustible qui l'entoure, et au moins un second jet d'oxydant primaire à mélange lent injecté à une distance  $d_1$  du premier jet d'oxydant primaire, de manière à se mélanger moins rapidement au jet de combustible que l'un au moins des jets d'oxydant primaire à mélange rapide

- Afin de pouvoir, selon l'invention, contrôler de façon indépendante l'impulsion et la longueur de la flamme, le système de combustion selon l'invention comportera de préférence deux paramètres de réglage. De plus, parce qu'il est souhaitable, de préférence, de contrôler avec précision le profil thermique du four dans lequel on met en oeuvre le procédé, de préférence le premier paramètre de réglage sera constitué par le rapport entre le débit d'oxygène apporté par l'oxydant secondaire et le débit d'oxygène total apporté par les oxydants primaires et secondaires. Ce débit d'oxydant secondaire sera apporté par un injecteur ou une lance.

De préférence, le procédé selon l'invention est caractérisé en ce que la distance  $d_1$  est inférieure ou égale à 30 cm, de préférence 25 cm.

Selon une autre variante de l'invention, la distance  $d_1$  est inférieure ou égale à dix fois le diamètre  $d_3$  du jet d'oxydant primaire à mélange lent.

5 D'une manière générale, par rapport au débit de combustible, la somme des débits d'oxydant primaire et d'oxydant secondaire sera de préférence sensiblement stoechiométrique comprise dans un intervalle de  $\pm 15\%$ .

10 Selon une autre variante de l'invention, le jet d'oxydant secondaire est lui-même constitué d'une pluralité de jets d'oxydant secondaire.

La quantité d'oxydant secondaire sera de préférence comprise entre 0 % et 90 %, de préférence entre 10 % et 90 % de la quantité totale d'oxydant injectée.

15 Plus préférentiellement, la quantité totale d'oxydant secondaire est comprise entre 50 % et 90 % de la quantité totale d'oxydant injectée, l'oxydant primaire représentant une quantité comprise entre 10% et 50% de la quantité totale d'oxydant.

20 En général, la quantité totale d'oxydant secondaire sera de préférence comprise entre 60 % et 80 % de la quantité totale d'oxydant injectée, la quantité d'oxydant primaire étant comprise entre 20 % et 40% de cette même quantité totale.

25 Selon un mode de réalisation de l'invention, la somme des surfaces des sections droites des orifices d'injection d'oxydant secondaire est supérieure ou égale à  $2,5\text{cm}^2$ .

De préférence, la distance entre le jet d'oxydant à mélange rapide de l'oxydant primaire et le jet d'oxydant secondaire sera égale à  $d_2$ , avec

$d_2 \geq 5D$  et  $d_2 \geq d_1$  et de préférence,

5  $10 \times D \leq d_2 \leq 50 D$ ,

D étant le diamètre du cercle de même surface que la surface de l'injecteur d'oxydant secondaire à travers lequel le jet d'oxydant secondaire est injecté. Si on utilise un nombre  $i$  d'injecteurs d'oxydant secondaire (i  
10 pouvant varier de 1 à 25), placés à une distance  $d_{2i}$  et de diamètre équivalent  $D_i$ ,  $d_{2i}$  et  $D_i$  doivent individuellement vérifier les formules ci-dessus.

Selon un autre aspect de l'invention, le (ou les) premier(s) jet(s) d'oxydant primaire à mélange rapide  
15 représente(nt) de 5 % à 40 % vol. de la quantité totale d'oxydant, tandis que le (ou les) second(s) jet(s) d'oxydant primaire à mélange lent représente(nt) de 5 % à 95 % vol. de la quantité totale d'oxydant, le complément éventuel d'oxydant étant apporté par les jets d'oxydant  
20 secondaires.

Selon un variante de réalisation, le second jet d'oxydant primaire à mélange lent est lui-même constitué d'une pluralité de jets.

Selon un autre aspect de l'invention, le second jet  
25 d'oxydant primaire est constitué de deux jets, sensiblement identiques, situés sensiblement à la même distance  $d_1$  du premier jet d'oxydant primaire à mélange

rapide, les trois jets d'oxydant étant sensiblement situés dans le même plan.

Selon une variante de l'invention, au moins un second jet d'oxydant primaire à mélange lent n'est pas situé dans le plan constitué par le premier jet d'oxydant primaire et le jet d'oxydant secondaire.

Lorsqu'on souhaite une bonne symétrie de l'ensemble de combustion, la pluralité de seconds jets d'oxydant primaire sera de préférence disposée de façon régulière autour du premier jet d'oxydant primaire, une autre alternative étant que la pluralité de seconds jets d'oxydant primaire sera disposée symétriquement par rapport à un plan contenant le premier jet d'oxydant primaire.

Les vitesses d'éjection des gaz sont bien entendu importantes à contrôler. Dans ce but, la vitesse d'injection du combustible sera de préférence comprise entre 20m/s et mach 2, et plus préférentiellement comprise entre 20m/s et 300 m/s.

Outre les différentes possibilités, bien connue en soi, pour injecter le combustible utilisé dans le procédé selon l'invention, le combustible peut être préchauffé avant d'être injecté. Une autre possibilité est que le combustible peut être pulsé, lors de son injection, la fréquence de ces pulsations étant de préférence comprise entre 0,1 et 3Hz et plus préférentiellement entre 0,1 et 1Hz. Pour plus de détails sur la manière d'injecter un fluide ou plusieurs fluides selon un mode dit « pulsé », on pourra se référer à l'article intitulé « Oscillating Combustion Technology Boosts Furnace Efficiency » de...Eric

Streicher, Ovidiu Marin, Olivier Charon and Harley Borders, publié dans Industrial Heating, Février 2001, incorporé dans la présente demande à titre de référence.

De même, de nombreuses variantes sont possibles  
5 concernant l'injection de l'oxydant. En général, la vitesse d'injection de l'oxydant primaire à mélange rapide sera de préférence comprise entre 20m/s et Mach 2.

De préférence également, la vitesse d'injection de  
10 l'oxydant primaire à mélange lent sera comprise entre 10m/s et Mach 1.

Selon une variante préférentielle de l'invention, la vitesse d'injection de l'oxydant secondaire sera comprise entre 20m/s et Mach 2.

15 Afin de diminuer la consommation de combustible, l'un au moins des jets d'oxydant sera de préférence préchauffé avant son injection, sa vitesse d'injection pouvant atteindre au plus une vitesse de Mach 2.

Dans le cadre d'une combustion pulsée (avec la  
20 signification de ce terme telle que rappelé ci-dessus), il est également possible de réaliser cette pulsation sur l'un des jets au moins d'oxydant, sachant que le combustible peut alors être ou ne pas être « pulsée » lui-même, selon les résultats souhaités). Selon cette  
25 variante, l'un au moins des jets d'oxydant est injecté par pulsation, la fréquence de ces pulsations étant comprise entre 0,1 et 3Hz et de préférence 0,1 et 1 Hz.

La composition de l'oxydant peut être variable et selon les conditions ou les résultats souhaités, cette composition répondra, de préférence, à l'une au moins des exigences définies ci-après :

5           -       l'oxydant secondaire pourra être constitué d'un mélange d'air, de préférence d'air préchauffé, et d'oxygène. D'une manière générale, l'oxydant, et plus particulièrement l'oxydant secondaire, pourra également être constituée d'un mélange de gaz ayant un caractère  
10 plus ou moins oxydant, comportant notamment de 5 à 100% d'oxygène (de préférence entre 10% et 100% vol.), de 0% à 95% de CO<sub>2</sub>, (de préférence entre 0 et 90% de CO<sub>2</sub>), de 0 à 80% d'azote (de préférence entre 0 et 70%), de 0 à 90% d'argon, avec au moins 3% d'oxygène dans le mélange. Le  
15 mélange pourra également contenir d'autres constituants et notamment de la vapeur d'eau et/ou des NO<sub>x</sub> et/ou SO<sub>x</sub>.

          -       l'air apportera de préférence 5% à 85% en volume du débit d'oxygène total de l'oxydant secondaire, le complément étant apporté par de l'air enrichi en oxygène  
20 ou de l'oxygène substantiellement pur.

          -       l'air constituera de préférence de 15 à 40% vol de l'oxygène total.

          Selon une variante de l'invention, on a prévu d'injecter un seul combustible ou plusieurs combustibles,  
25 qui peuvent être de même nature (différents gaz par exemple) et/ou de nature différente (gaz et fiouls, par exemple)

          L'invention concerne également un ensemble de combustion qui permet notamment de mettre en œuvre le

procédé selon l'invention. Ainsi, l'invention concerne un ensemble de combustion à injections séparées constitué d'un bloc comportant au moins un orifice pour l'injection de combustible et au moins un orifice pour l'injection  
5 d'oxydant, et qui est caractérisé en ce que l'orifice d'injection de combustible comporte au moins un axe de symétrie longitudinal, dans la direction d'écoulement du combustible, un premier injecteur d'oxydant qui comporte également un axe de symétrie longitudinal, étant disposé  
10 dans l'orifice d'injection de combustible, les deux axes de symétrie longitudinaux étant sensiblement parallèles, un second orifice d'injection d'oxydant étant disposé à une distance  $d_1$  de l'axe de symétrie du premier injecteur d'oxydant, avec  $d_1 \leq 30$  cm.

15 De préférence, cet ensemble comportera au moins un second bloc dans lequel est prévu un troisième orifice d'injection d'oxydant de diamètre  $D$ , disposé à une distance  $d_2$  de l'axe de symétrie du premier injecteur d'oxydant, avec :

20  $D_2 \geq 5D$  et  $d_2 \geq d_1$ , et de préférence,

$$10 \times D \leq d_2 \leq 50 \times D$$

Selon un variante de l'invention,  $d_1 \leq 10 \times d_3$ ,  $d_3$  étant le diamètre du jet d'oxydant primaire à mélange lent (ou son équivalent si la section de l'injecteur  
25 n'est pas circulaire, tandis que, de préférence  $D \geq 0,5$  cm.

De préférence, le bloc de l'ensemble de combustion comportera une pluralité d'orifices d'injection de combustible ainsi que de préférence, une pluralité de

premiers injecteurs d'oxydant, et/ou une pluralité de second orifices d'injection d'oxydant.

Selon un variante de réalisation, au moins un orifice  
5 d'injection de combustible comportera un injecteur de combustible liquide, tandis que selon un autre variante de l'invention, le bloc pourra comporter plusieurs orifices distincts d'injection de combustible, pour l'injection d'un ou plusieurs combustibles.

10

Selon un mode avantageux de réalisation, l'ensemble selon l'invention comportera de préférence une première vanne de répartition de l'oxydant total qui débouche d'une part sur une canalisation d'oxydant primaire et  
15 d'autre part sur une canalisation d'oxydant secondaire reliée au troisième orifice d'injection d'oxydant, la canalisation d'oxydant primaire étant reliée à une seconde vanne de répartition qui est reliée d'une part au premier injecteur d'oxydant et d'autre part au second  
20 orifice d'injection d'oxydant.

Selon une variante de réalisation de l'invention, le troisième orifice d'injection d'oxydant secondaire pourra être un injecteur à double section (ou multi-sections),  
25 de manière à pouvoir faire varier la vitesse et la quantité de mouvement de l'oxydant sans modifier le débit de l'oxydant.

- Dans le cas où le même oxydant est utilisé comme  
30 oxydant primaire et secondaire, c'est à dire notamment lorsqu'on pratique une combustion de type étagé, les sections des injecteurs d'oxydant secondaire doivent être

telles que la quantité de mouvement totale des différents jets d'oxydants introduits par le brûleur soit supérieure pour un taux d'étagement de 50% à sa valeur correspondante pour un taux d'étagement égal à zéro.

5 (La quantité de mouvement totale, également appelée impulsion totale, est calculée comme la somme des produits de la vitesse de chaque jet d'oxydant par son débit massique, en prenant en compte tous les jets d'oxydant introduit par le brûleur).

10

L'avantage des caractéristiques décrites ci-dessus est que pour un degré d'étagement supérieur à 50%, la longueur de la flamme et l'impulsion augmentent simultanément avec le degré d'étagement, contrairement à  
15 la technique consistant à changer de canne d'injection. Dans le cas où le brûleur n'utilise qu'un même type d'oxydant, on appelle taux d'étagement le rapport entre le débit des jets secondaires d'oxydant et le débit total (primaire plus secondaire) d'oxydant. Si l'un des  
20 oxydants est différent de l'autre, par exemple air et oxydant, on ne comptabilisera dans le rapport des débits que la proportion d'oxygène ou d'oxydant dans chacun des jets. La mise en œuvre d'un paramètre permettant d'augmenter simultanément la longueur de la flamme et  
25 l'impulsion totale du brûleur permet un contrôle précis de la position de transfert thermique maximale.

Selon l'invention, on utilise de préférence un deuxième paramètre de réglage qui consiste à diviser le débit d'oxygène primaire entre un débit assurant un  
30 mélange très rapide avec le combustible, et un débit assurant un mélange comparativement plus lent. Ce deuxième paramètre de réglage peut donc être choisi comme

la fraction de l'oxygène primaire introduite par l'injection à mélange rapide.

L'invention sera mieux comprise à l'aide des exemples de réalisations suivants, conjointement avec les figures  
5 qui représentent :

La figure 1, des courbes donnant la valeur du flux thermique dans l'axe de la flamme d'un brûleur de type connu de 1MW en fonction de sa position dans le four. (L'abscisse de la figure 1 est comptée à partir de la  
10 paroi interne du four coïncidant avec la face interne du brûleur. La direction aval est donc vers les longueurs axiales croissantes).

La figure 2, un profil axial de température de voûte en fonction de la longueur de la flamme,

15

Sur la figure 1 sont représentées des courbes donnant le flux thermique de la flamme (en kW/m<sup>2</sup>) en fonction de la distance longitudinale sur le four (en m). Le brûleur oxycombustible (non représenté) est placé sur  
20 la paroi arrière du four (abscisse 0).

La courbe 1 représente le flux thermique pour une flamme à très faible quantité de mouvement (« very low momentum »). Ceci correspond à la flamme 4 dont la partie visible est assez longue.

25

La courbe 2 représente le flux thermique d'une flamme 5 (toutes choses égales par ailleurs) à faible quantité de mouvement, cette flamme 5 étant un peu moins longue la flamme 4.

La courbe 3 représente le flux thermique d'une flamme  
30 6 (toutes choses égales par ailleurs) ayant une forte quantité de mouvement (« high momentum »), flamme 6 qui est plus courte que la flamme 5. On remarque que le

point le plus chaud de ces flammes (respectivement A pour la flamme 4, B pour la flamme 5 et C pour la flamme 6) s'éloigne du nez du brûleur (paroi arrière du four), tandis que la longueur de la flamme (visible) diminue  
5 lorsque la quantité de mouvement (ou l'impulsion de la flamme) augmente. (Courbes comparatives réalisées à partir d'un brûleur de 1MW vendu par la Titulaire sous la dénomination commerciale « ALGLASS ».

Sur la figure 2 sont représentées trois courbes  
10 donnant la température de voûte d'un même four en fonction de la longueur de la flamme réalisée, chaque flamme ayant cependant une même impulsion (impulsion basse-vitesse moyenne égale à 30m/s pour les trois flammes). Le brûleur utilisée est un brûleur 2MW du même  
15 type que précédemment. Pour une flamme courte 10, le maximum de température D est à environ 3m de la paroi arrière du four, tandis que l'augmentation de la longueur de flamme permet de déplacer le maximum de température de voûte en direction de la paroi avant du four (E, maximum  
20 de température pour la courbe 11, est situé à un peu moins de 4m de la paroi arrière du four, tandis que F maximum de température de la courbe 12 est situé à environ 4,50m de la même paroi).

La figure 3 représente une vue schématique partielle  
25 de dessus (fig. 3a) et en coupe (fig. 3b) d'un exemple d'un ensemble de combustion selon l'invention pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

L'ensemble de combustion est ici placé dans un bloc réfractaire 33, dans lequel ont été placés deux blocs  
30 respectivement 34 et 35.

Le bloc 34 de préférence cylindrique est percé d'une canalisation (ou injecteur) 26 dont l'orifice débouche en

38 du bloc. Cette canalisation ou injecteur 26 (éventuellement un injecteur métallique cylindrique creux peut être glissé dans l'alésage cylindrique 26) a un diamètre (en 38) égal à  $D$  (si l'injecteur n'est pas cylindrique,  $D$  représente le diamètre du cercle de même surface que la section de l'injecteur en 38). Ce bloc 34 est glissé dans la chemise cylindrique 36 dans le bloc 33. La canalisation 26 reçoit l'oxydant dit secondaire 22.

10 Le bloc 35 comporte une canalisation 28 pour injecter l'oxydant primaire à mélange rapide 23, la canalisation 28 étant disposée concentriquement dans la canalisation (ou injecteur) 29 dans laquelle le combustible 25 est injecté. Disposé à une distance  $d_1$  se trouve l'injecteur 15 (ou canalisation 27 dans laquelle est injecté l'oxydant primaire à mélange lent. Cet injecteur 27 a une section de diamètre  $d_3$  en 30, là où débouche ledit injecteur 27 ( $d_3$  est le diamètre équivalent comme défini ci-avant si la section n'est pas circulaire). Le bloc 35 est logé 20 dans l'alésage 37. La canalisation 20 d'oxydant total se sépare en une canalisation d'oxydant primaire 21 et une canalisation d'oxydant secondaire 22 dans laquelle est placée une première vanne de commande 42 permettant de répartir le débit d'oxydant entre 21 et 22 (en fonction 25 bien sur des diamètres respectifs desdites canalisations). Il est aussi possible de placer 42 dans le bras de canalisation 21 si l'on ne souhaite pas avoir un réglage incluant le cas où le débit d'oxygène secondaire peut être nul. La canalisation 21 se sépare 30 elle-même en deux canalisations 23 et 24 avec une vanne 43 dans l'une d'entre elles selon que l'on veut pouvoir annuler le débit d'oxydant dans la branche 23 ou la

branche 24. (On peut bien sur prévoir une vanne dans chacune de ces branches, de même que l'on peut prévoir une vanne dans la branche 21 en plus de celle de la vanne 42 dans la branche 22.

5 Pour le fonctionnement de ce système, on peut répartir l'oxygène entre les différentes canalisations selon les résultats que l'on veut obtenir, canalisations ayant des diamètres respectifs tels que l'on obtienne les vitesses d'injection d'oxygène différentes ou identiques  
10 dans les différents injecteurs.

Bien entendu, on peut placer l'injecteur 27 de telle manière que son extrémité 30 soit située en 39 ou 40 ou 41 ou en un endroit quelconque sur le cercle de rayon  $d_1$ . Il est également possible d'avoir simultanément plusieurs  
15 orifices 30 et/ou 39 et/ou 40 et/ou 41, dont les injecteurs sont reliés entre eux et l'oxygène à mélange lent réparti dans ces différents injecteurs. On peut ainsi créer également un brûleur/injecteur d'oxydant à vitesse supersonique, en prévoyant un injecteur 28 ayant  
20 une extrémité proche de 32 en forme de convergent/divergent (tuyère dite de Laval), en modifiant ou non les proportions relatives d'oxygène et de combustible selon ce que l'on veut obtenir. Ainsi avec 28 équipé d'une tuyère supersonique, on peut soit  
25 injecter de l'oxydant seul, à vitesse supersonique, à travers 28 et 32, soit entourer cet jet supersonique d'une flamme qui sera réalisée à l'aide d'une injection subsonique à travers 29 de combustible et 27 d'oxydant, éventuellement complété par une injection d'oxydant à  
30 travers 26, soit réaliser une flamme subsonique seulement à l'aide de 29 et 27 (plus 26 si nécessaire ou souhaité).

La figure 4 représente un détail d'une variante de réalisation de l'injection de l'oxydant primaire à mélange rapide et du combustible, lorsque celui-ci est du gaz naturel.

5 Le bloc réfractaire 35 comporte un alésage 51 de diamètre  $d_5$  (ou diamètre du cercle de surface équivalente). Dans cet espace 51 est disposé un injecteur 52 de gaz naturel de préférence cylindrique de diamètre  $d_4$ , inséré en retrait de telle manière qu'il y  
10 ait une distance  $h$  entre le sommet de cet injecteur 52 et la surface du bloc réfractaire 35. L'injecteur 52 est creux pour être alimenté en oxydant et comporte de préférence au moins un trou 53 dans sa surface supérieure et/ou au moins un trou 54 dans sa paroi latérale  
15 (verticale sur la figure 4).

Le gaz naturel 56 est injecté dans l'espace annulaire restant entre les parois verticales de l'alésage 51 et les parois verticales 57 de l'injecteur 52, entre lesquelles est injecté l'oxydant.

20 (S'il on utilise du fioul comme combustible, l'oxygène primaire à mélange rapide sera le fluide de pulvérisation du fioul, cet oxygène étant éventuellement utilisé avec de l'air comme fluide de pulvérisation).

La figure 5 représente une variante de réalisation de  
25 l'invention sous forme schématique, uniquement.

Le bloc réfractaire 100 comporte en partie supérieure, un orifice d'injection de fioul liquide 101 si l'on veut faire fonctionner le système de combustion avec tout ou partie de fioul. Disposés sur une rangée  
30 horizontale placée sous l'orifice 101, se trouvent une pluralité d'orifices d'injection d'oxygène primaire à mélange lent 102, 103, 104, 105.

Disposés dans la partie inférieure du bloc 100, se trouve une rangée de trois (il peut y en avoir plus ou moins) ensembles d'orifices concentriques 110, 111, 120, 121, 130, 131, respectivement d'injection de combustible tel que gaz naturel et d'oxydant tel qu'oxygène primaire à mélange rapide (voir figure 3 pour plus de détails). A une distance  $d_2$  sont disposés de part et d'autre du bloc (par exemple mais non nécessairement des orifices 106 et 107 d'injection d'oxygène.

La figure 6 représente une variante schématique de mise en œuvre du système selon l'invention comportant deux blocs réfractaires 200, 300 comportant de haut en bas un orifice d'injection de fioul 201 respectivement, 301, deux orifices d'injection de gaz naturel 202, 203 respectivement 302, 303, deux orifices coaxiaux d'injection d'oxygène au centre et de combustible annulairement 205, 204 respectivement 305, 304 et une injection d'oxygène secondaire dans un injecteur 206, respectivement 306, disposé à une distance  $d_2$  des orifices coaxiaux.

La figure 7 représente l'impulsion totale de la flamme en fonction du ratio représentant la fraction de la quantité d'oxygène secondaire divisée par la quantité d'oxygène total. Cette impulsion présente un minimum pour un ratio d'environ 30% et augmente ensuite atteignant des valeurs plus grandes que la valeur de l'impulsion lorsqu'il n'y a pas d'injection d'oxygène secondaire, pour un ratio supérieur à 60%.

**REVENDICATIONS**

1.- Procédé de combustion dans un four dans lequel on injecte séparément au moins un combustible et au moins un oxydant, le jet d'oxydant comportant un jet d'oxydant primaire et un jet d'oxydant secondaire, le jet d'oxydant primaire étant injecté à proximité du combustible de manière à engendrer une première combustion incomplète, les gaz issus de cette première combustion comportant encore au moins une partie du combustible, tandis que le jet d'oxydant secondaire est injecté à une distance du jet de combustible qui est supérieure à la distance entre le jet de combustible et le jet d'oxydant primaire le plus proche du jet de combustible, de manière à entrer en combustion avec la partie de combustible diluée notamment par les gaz de la première combustion et qui n'a pas encore réagi avec de l'oxydant, caractérisé en ce que le jet d'oxydant primaire est lui-même divisé en au moins deux jets primaires, au moins un premier jet d'oxydant primaire à mélange rapide, injecté dans le jet de combustible, de manière à provoquer rapidement une réaction de combustion avec le combustible qui l'entoure, et au moins un second jet d'oxydant primaire à mélange lent injecté à une distance  $d_1$  du premier jet d'oxydant primaire, de manière à se mélanger moins rapidement au jet de combustible que l'un au moins des jets d'oxydant primaire à mélange rapide.

2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la distance  $d_1$  est inférieure ou égale à 30 cm, de préférence 25 cm.

3.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la distance  $d_1$  est inférieure ou égale à dix fois le diamètre  $d_3$  du jet d'oxydant primaire à mélange lent.

4.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la somme des débits d'oxydant primaire et d'oxydant secondaire est sensiblement stoechiométrique par rapport au débit de combustible, comprise de préférence dans un intervalle de  $\pm 15\%$  par rapport au débit stoechiométrique.

5.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le jet d'oxydant secondaire est lui-même constitué d'une pluralité de jets d'oxydant secondaire.

6.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la quantité d'oxydant secondaire est comprise entre 0 % et 90 %, de préférence entre 10 % et 90 % de la quantité totale d'oxydant injectée.

7.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la quantité totale d'oxydant secondaire est comprise entre 50 % et 90 % de la quantité totale d'oxydant injectée, l'oxydant primaire représentant une quantité comprise entre 10% et 50% de la quantité totale d'oxydant.

8.- Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la quantité totale d'oxydant secondaire est comprise entre 60 % et 80 % de la quantité totale d'oxydant injectée, la quantité d'oxydant primaire étant comprise entre 20 % et 40% de cette même quantité totale.

9.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la somme des surfaces des sections droites des orifices d'injection d'oxydant secondaire est supérieure ou égale à  $2,5\text{cm}^2$ .

5 10.- Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la distance entre le jet d'oxydant à mélange rapide de l'oxydant primaire et le jet d'oxydant secondaire est égale à  $d_2$ , avec

$d_2 \geq 5D$  et  $d_2 \geq d_1$  et de préférence,

10  $10 \times D \leq d_2 \leq 50 D$ ,  $D$  étant le diamètre du cercle de même surface que la surface de l'injecteur secondaire à travers lequel le jet d'oxydant secondaire est injecté.

11.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le (ou les) premier(s) jet(s) d'oxydant primaire à mélange rapide représente(nt) de 5 % à 40 % vol. de la quantité totale d'oxydant, tandis que le (ou les) second(s) jet(s) d'oxydant primaire à mélange lent représente(nt) de 5 % à 95 % vol. de la quantité totale d'oxydant, le complément éventuel d'oxydant étant  
20 apporté par les jets d'oxydant secondaires.

12.- Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le second jet d'oxydant primaire à mélange lent est lui-même constitué d'une pluralité de jets.

25 13.- Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que le second jet d'oxydant primaire est constitué de deux jets, sensiblement identiques, situés sensiblement à la même distance  $d_1$  du premier jet

d'oxydant primaire à mélange rapide, les trois jets d'oxydant étant sensiblement situés dans le même plan.

14.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que au moins un second jet d'oxydant  
5 primaire à mélange lent n'est pas situé dans le plan constitué par le premier jet d'oxydant primaire et le jet d'oxydant secondaire.

15.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que la pluralité de seconds jets  
10 d'oxydant primaire est disposée de façon régulière autour du premier jet d'oxydant primaire.

16.- Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que la pluralité de seconds jets d'oxydant primaire est disposée symétriquement par rapport à un plan  
15 contenant le premier jet d'oxydant primaire.

17.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la vitesse d'injection du combustible est supérieure à 20m/s et de préférence inférieure ou égale à mach 2.

20 18.- Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que la vitesse d'injection du combustible est comprise entre 20 m/s et 300 m/s.

19.- Procédé selon l'une des revendications 17 ou 18, caractérisé en ce que le combustible peut être préchauffé  
25 avant d'être injecté.

20.- Procédé selon l'une des revendications 17 à 19, caractérisé en ce que le combustible est pulsé lors de son injection, la fréquence de ces pulsations étant de

préférence comprise entre 0,1 et 3Hz et plus préférentiellement entre 0,1 et 1Hz.

21.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 20, caractérisé en ce que la vitesse d'injection de l'oxydant primaire à mélange rapide est comprise entre 20m/s et Mach 2.

22.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 21, caractérisé en ce que la vitesse d'injection de l'oxydant primaire à mélange lent est comprise entre 10m/s et Mach 1.

23.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 22, caractérisé en ce que la vitesse d'injection de l'oxydant secondaire est comprise entre 20m/s et Mach 2.

24.- Procédé selon l'une des revendications 1 à 20, caractérisé en ce que l'un au moins des jets d'oxydant est préchauffé avant son injection, sa vitesse d'injection pouvant atteindre au plus une vitesse de mach 2.

25.- Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'un au moins des jets d'oxydant est injecté par pulsation, la fréquence de ces pulsations étant comprise entre 0,1 et 3Hz et de préférence 0,1 et 1 Hz.

26.- Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'oxydant secondaire est constitué d'un mélange d'air, de préférence d'air préchauffé, et d'oxygène.

27.- Procédé selon la revendication 26, caractérisé en ce que l'air apporte de 5% à 80% en volume de l'oxygène total de l'oxydant secondaire, le complément étant apporté par de l'air enrichi en oxygène ou de  
5 l'oxygène substantiellement pur.

28.- Procédé selon la revendication 27, caractérisé en ce que l'air constitue de 15 à 40% vol de l'oxygène total.

29. - Procédé selon l'une des revendications  
10 précédentes, caractérisé en ce que l'on injecte un seul combustible ou plusieurs combustibles différents.

30.- Ensemble brûleur à injection séparée constitué d'un bloc comportant au moins un orifice pour l'injection de combustible et au moins un orifice pour l'injection  
15 d'oxydant, caractérisé en ce que l'orifice d'injection de combustible comporte au moins un axe de symétrie longitudinal, dans la direction d'écoulement du combustible, un premier injecteur d'oxydant qui comporte également un axe de symétrie longitudinal, étant disposé  
20 dans l'orifice d'injection de combustible, les deux axes de symétrie longitudinaux étant sensiblement parallèles, un second orifice d'injection d'oxydant étant disposé à une distance  $d_1$  de l'axe de symétrie du premier injecteur d'oxydant, avec  $d_1 \leq 30$  cm.

25 31. - Ensemble selon la revendication 30, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un second bloc dans lequel est prévu un troisième orifice d'injection d'oxydant de diamètre  $D$  et qui est disposé à une distance  $d_2$  de l'axe de symétrie du premier injecteur d'oxydant, avec :

$d_2 \geq 5D$  et  $d_2 \geq d_1$ , et de préférence,

$$10 \times D \leq d_2 \leq 50 \times D$$

32. - Ensemble selon l'une des revendications 30 ou 31, caractérisé en ce que  $d_1 \leq 10 d_3$ .

5 33.- Procédé selon la revendication 31 ou 32, caractérisé en ce que  $D \geq 0,5$  cm.

34.- Ensemble selon l'une des revendications 30 à 33, caractérisé en ce que le bloc comporte une pluralité  
10 d'orifices d'injection de combustible.

35.- Ensemble selon l'une des revendications 30 à 34, caractérisé en ce que le bloc comporte une pluralité de premiers injecteurs d'oxydant.

15

36.- Ensemble selon l'une des revendications 30 à 35, caractérisé en ce que le bloc comporte une pluralité de second orifices d'injection d'oxydant.

20 37.- Ensemble selon l'une des revendications 30 à 36, caractérisé en ce que l'orifice d'injection de combustible comporte un injecteur de fioul lourd.

38. - Ensemble selon l'une des revendications 30 à  
25 37, caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs orifices distincts d'injection de combustible, pour l'injection d'un ou plusieurs combustibles.

39.- Ensemble selon l'une des revendications 30 à 38,  
30 caractérisé en ce qu'il comporte une première vanne de

répartition de l'oxydant total qui débouche d'une part sur une canalisation d'oxydant primaire et d'autre part sur une canalisation d'oxydant secondaire relié au troisième orifice d'injection d'oxydant, la canalisation  
5 d'oxydant primaire étant reliée à une seconde vanne de répartition qui est reliée d'une part au premier injecteur d'oxydant et d'autre part au second orifice d'injection d'oxydant.

10 40.- Ensemble selon l'une des revendications 30 à 39, caractérisé en ce que le troisième orifice d'injection d'oxydant secondaire est un injecteur à double section, de manière à pouvoir faire varier la vitesse et la  
15 quantité de mouvement de l'oxydant sans modifier la pression de l'oxydant en amont de cet injecteur.

1/7

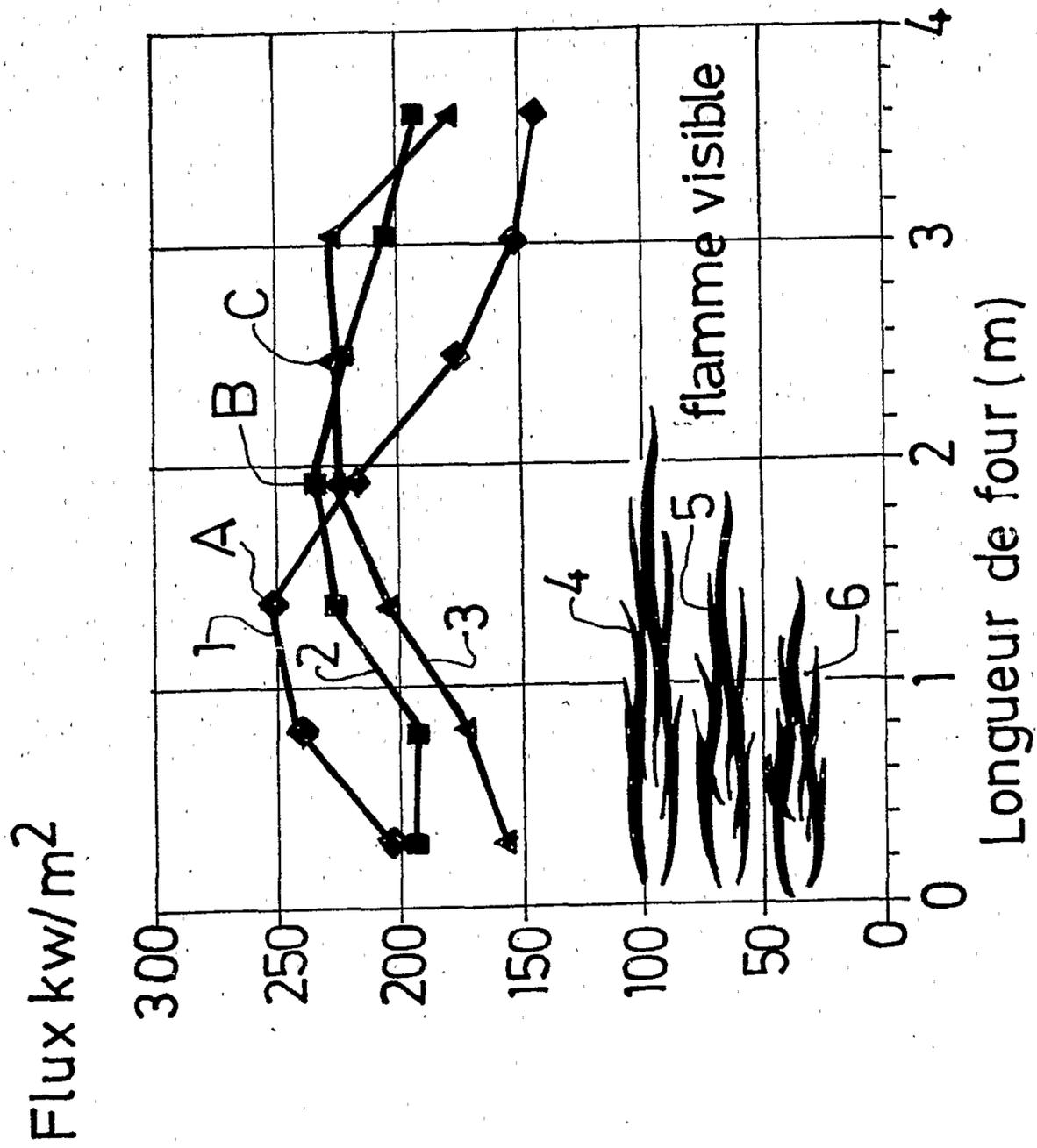


FIG.1

2/7

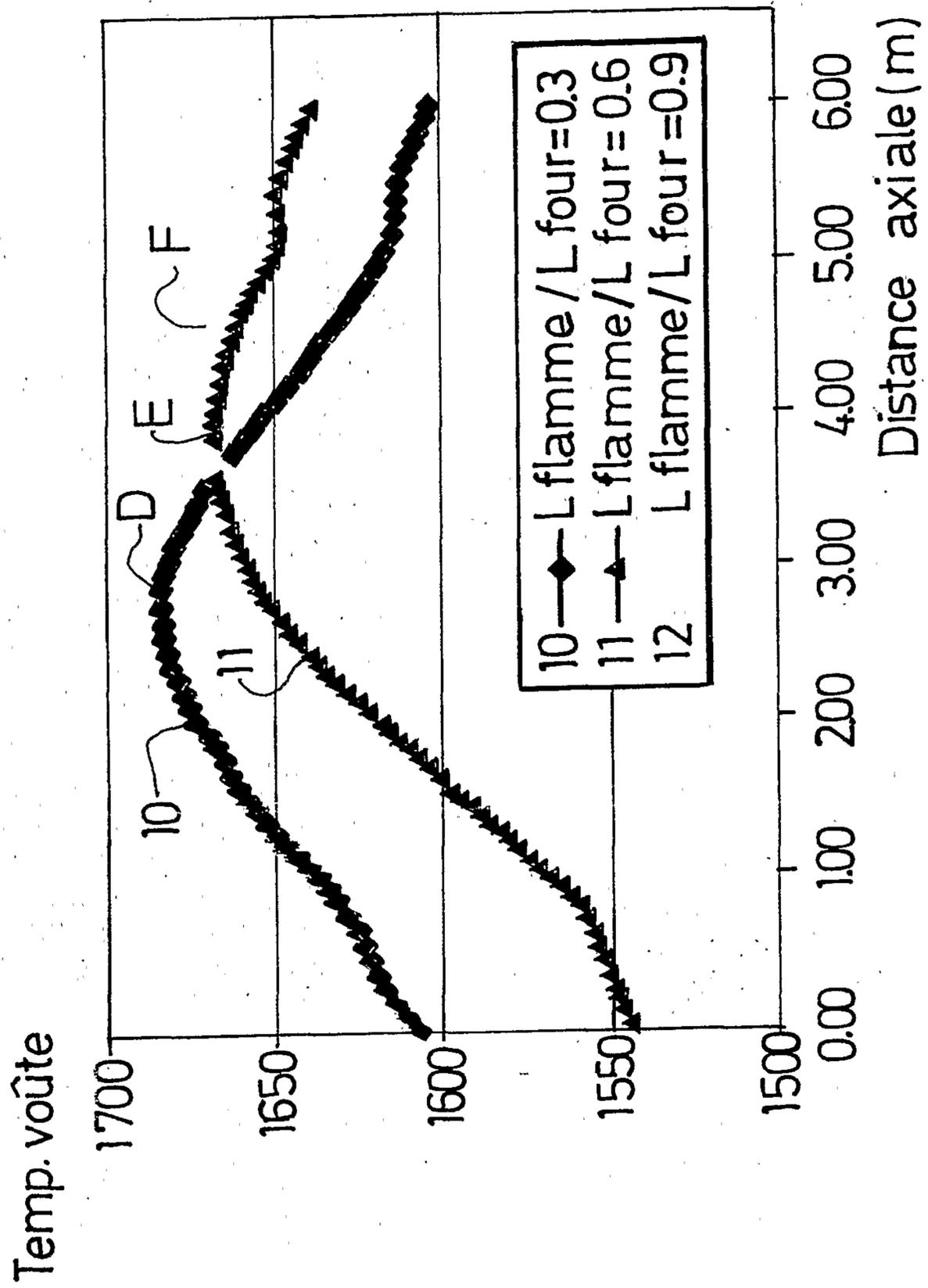


FIG.2

3/7

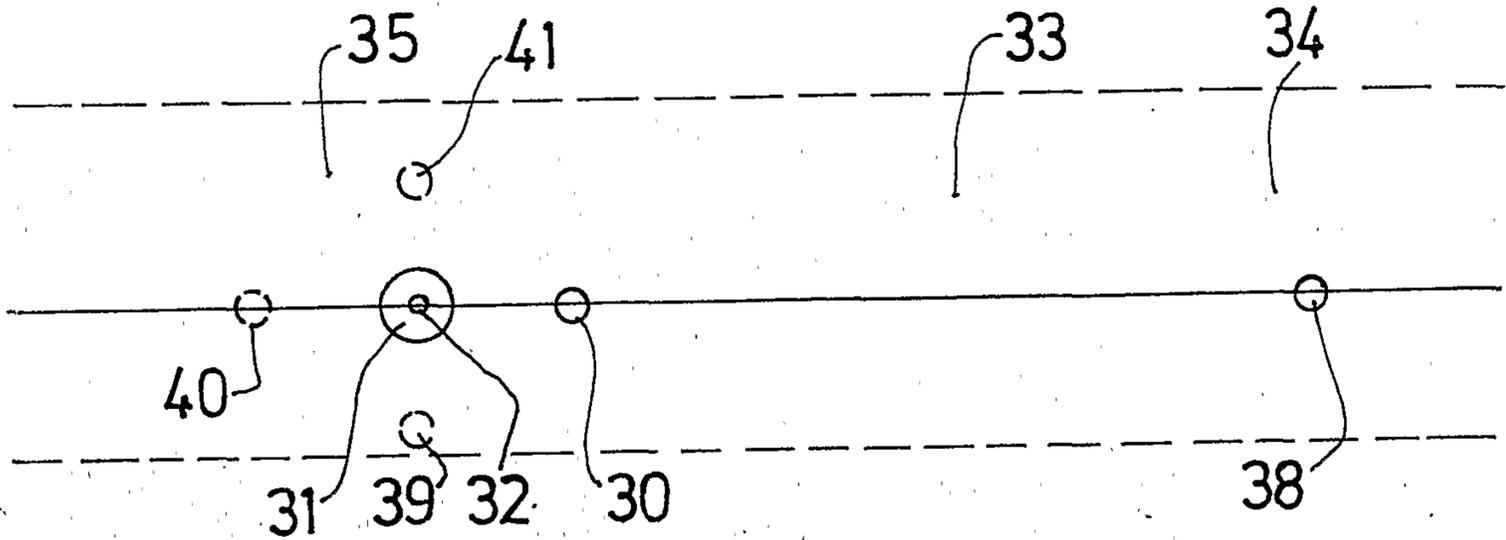


FIG.3a

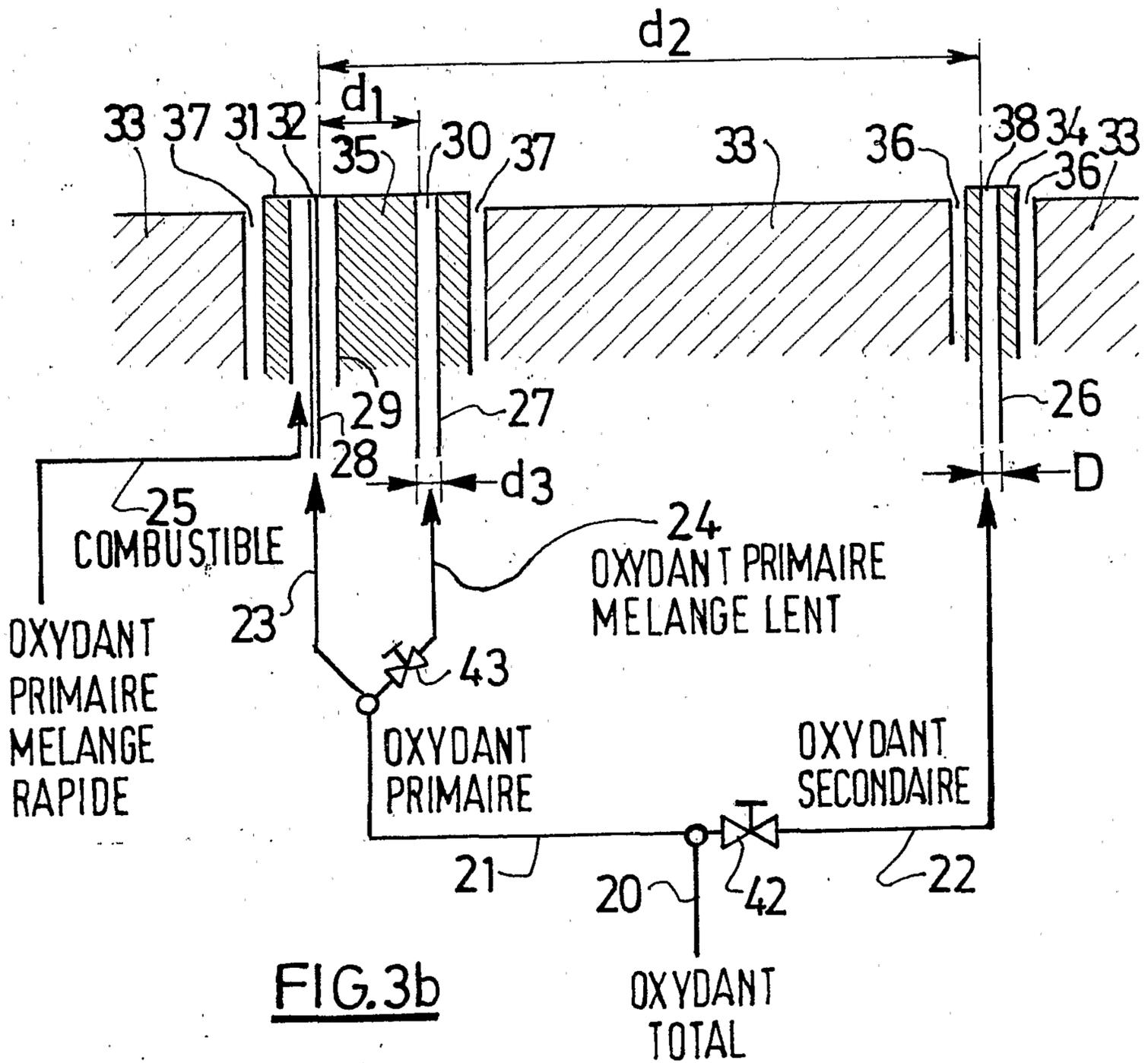


FIG.3b

4/7

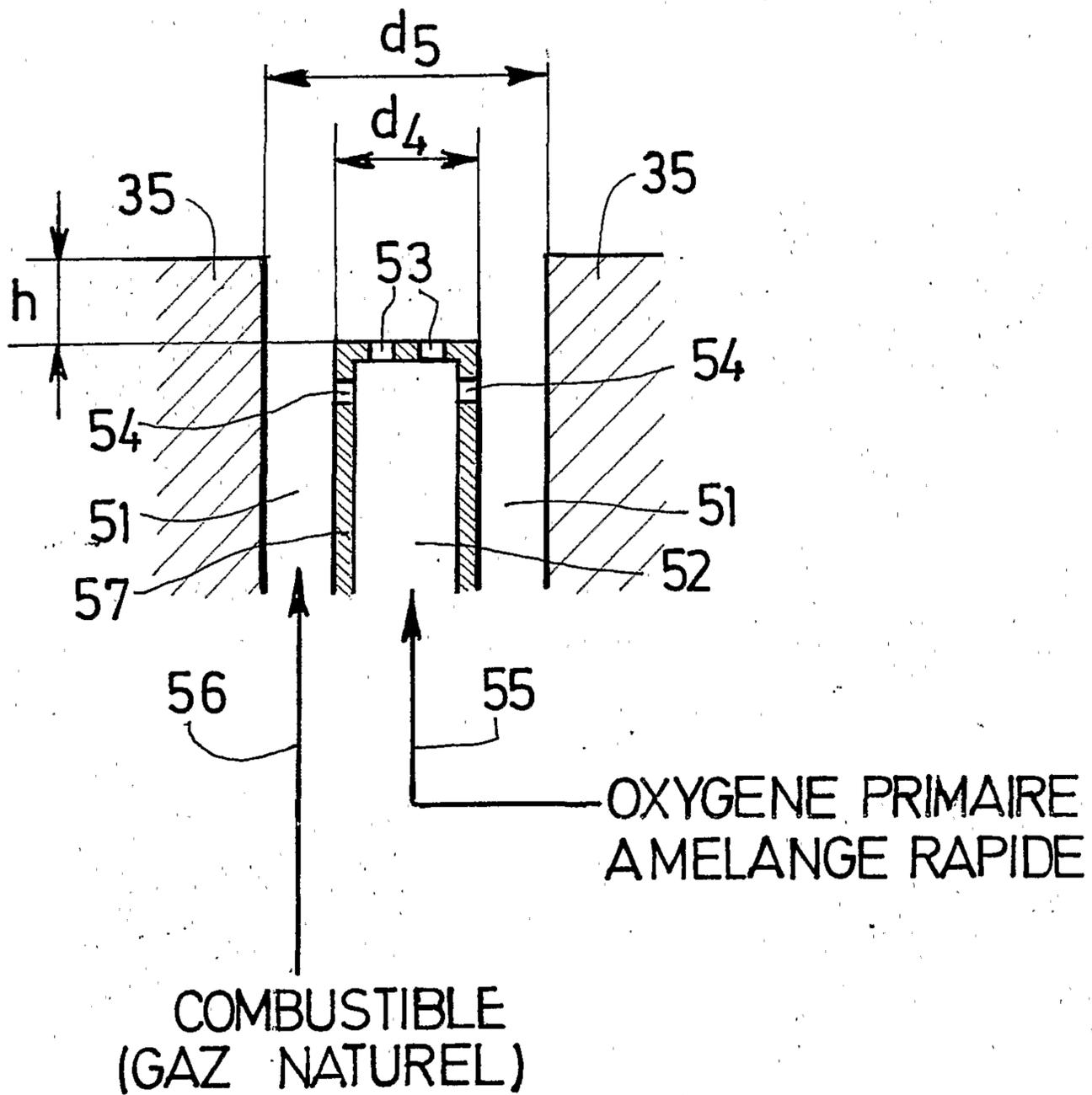


FIG.4

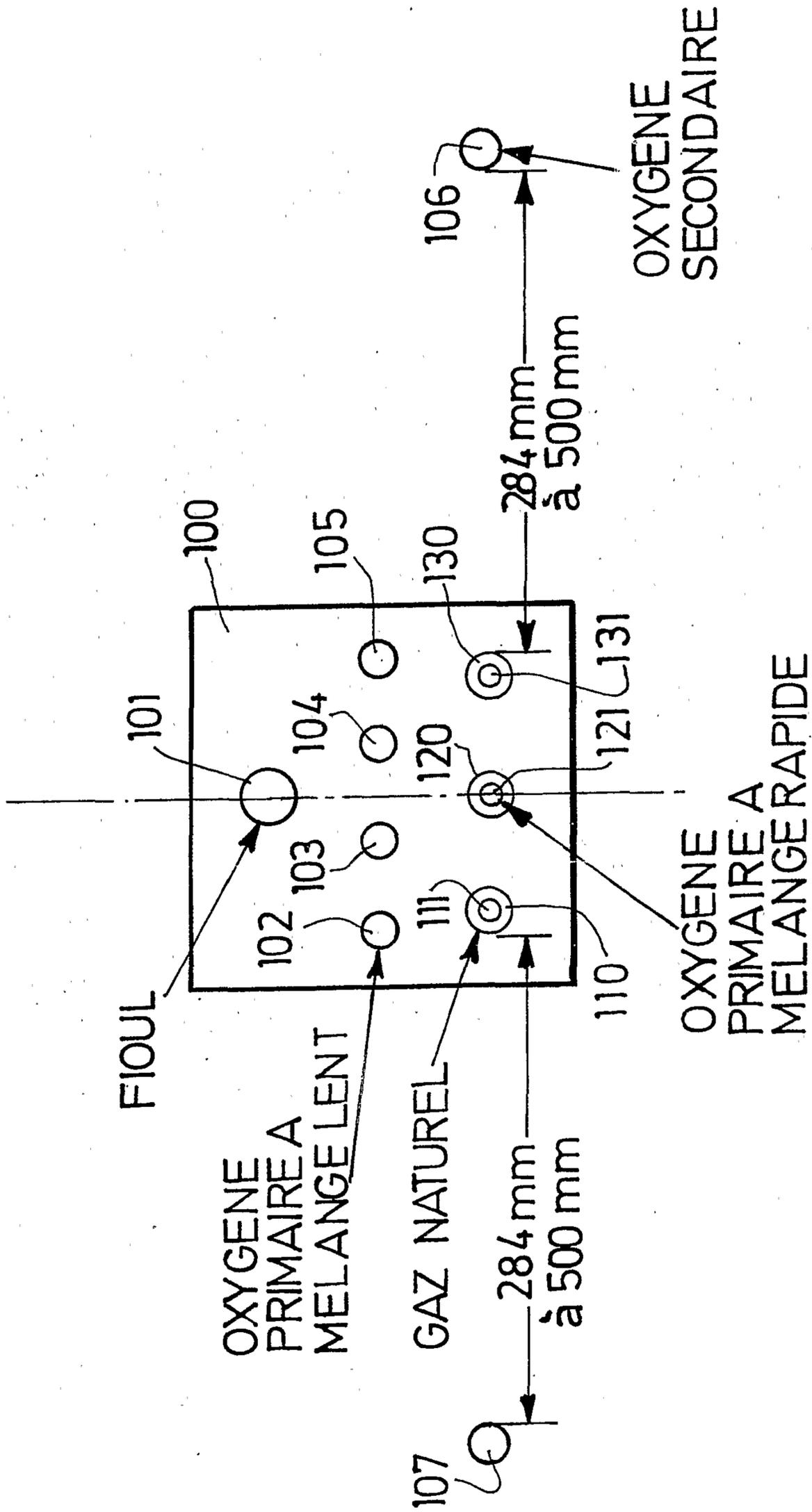
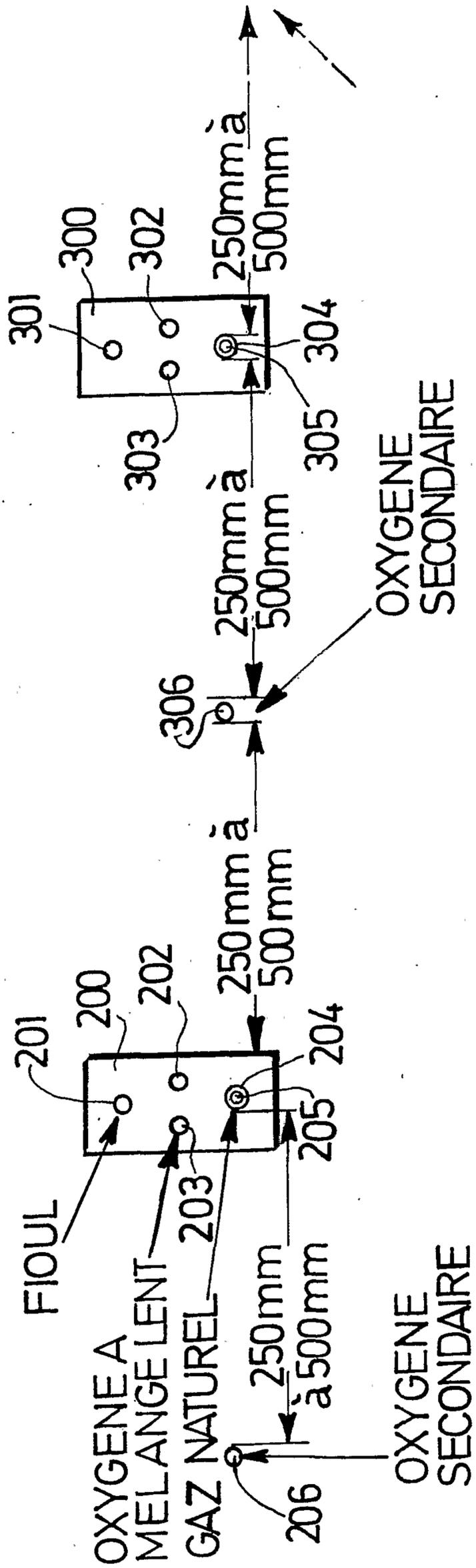


FIG. 5

6/7



**FIG.6**

7/7

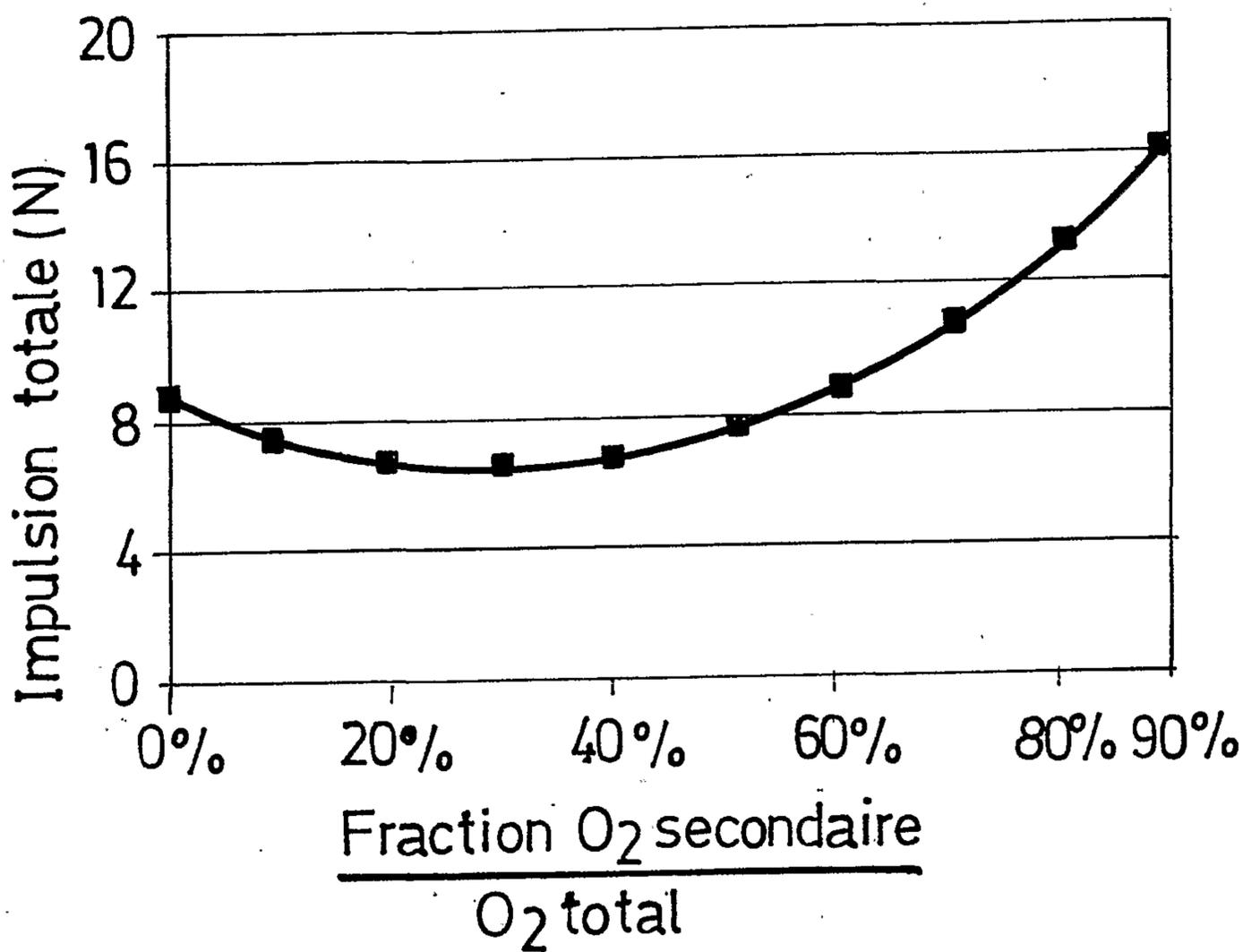
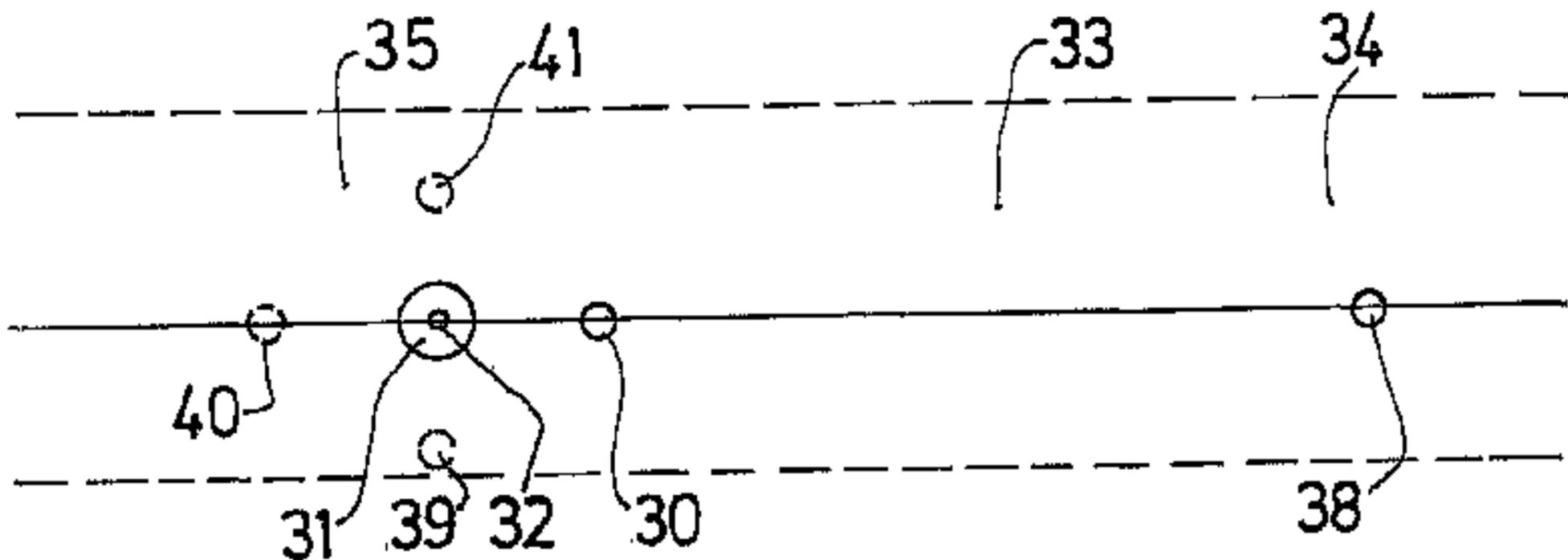
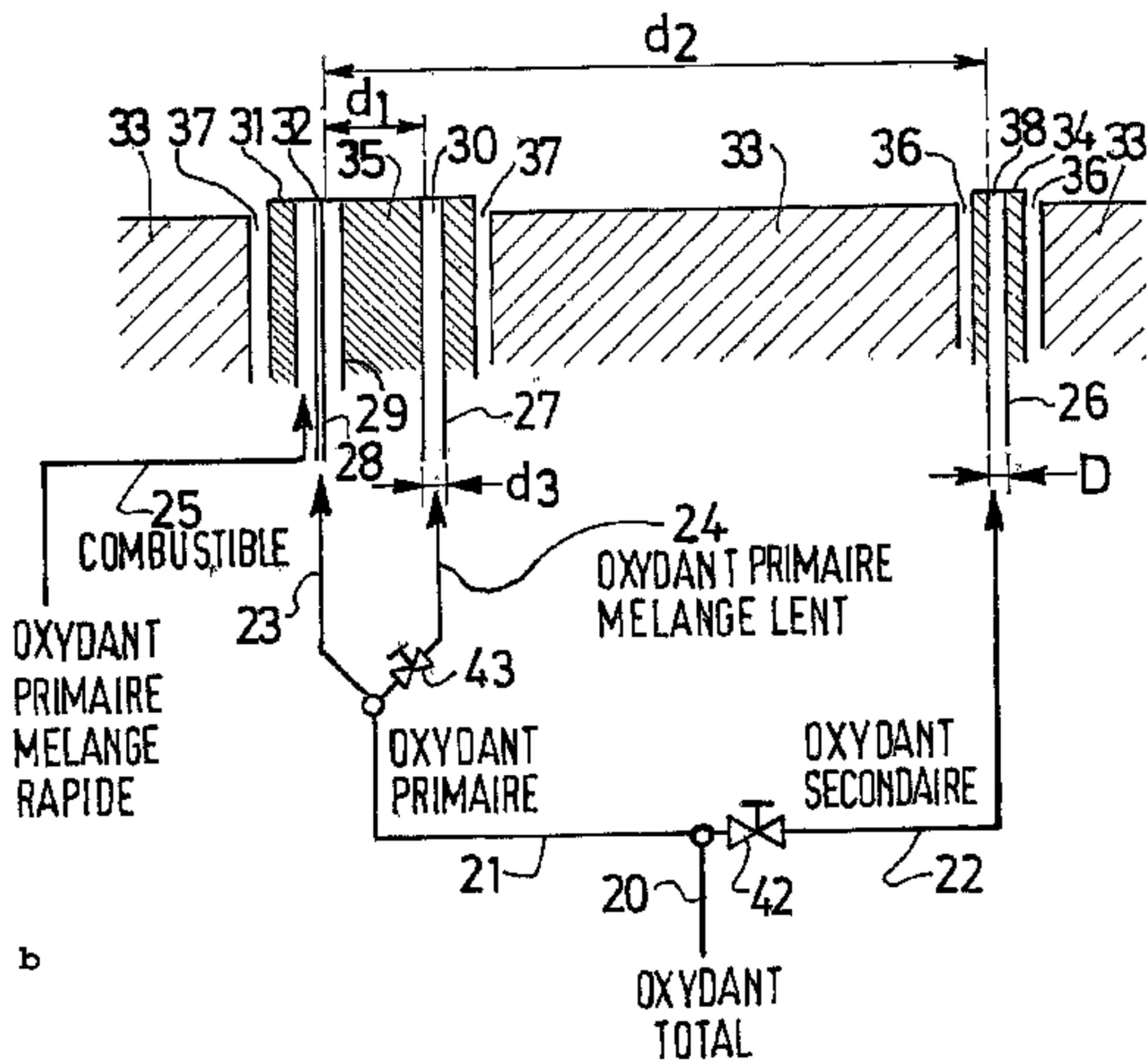


FIG.7



a



b