

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 13900

(54) Procédé et dispositif de combustion avec le minimum d'émission d'oxydes d'azote, notamment dans des fours industriels.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). F 23 D 11/40, 11/38, 15/04.

(22) Date de dépôt..... 23 juin 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 52 du 24-12-1981.

(71) Déposant : KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO, résidant au Japon.

(72) Invention de : Tomio Suzuki et Kotaro Morimoto.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Harlé et Léchopiez,
21, rue de la Rochefoucauld, 75009 Paris.

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de combustion avec le minimum d'émission d'oxydes d'azote NOx.

La quantité d'oxydes d'azote (désignés dans la suite par NOx) qui se forme lors de la combustion de combustibles gazeux ou liquides dans différents fours ou chaudières industriels , dépend des conditions de combustion ,notamment de facteurs tels que la température de flamme , la concentration en oxygène et le temps de séjour des gaz de combustion dans la zone à haute température ; plus la température de flamme est élevée et plus la concentration en oxygène est grande , plus la quantité d'oxydes d'azote formés est élevée .

Il est d'une pratique courante dans le domaine de la combustion d'assurer un mélange uniforme de l'air de combustion avec le combustible aussitôt que possible afin de produire une combustion rapide et dans le but d'augmenter le rendement de combustion . Cependant , une telle combustion rapide élève la température de flamme , élargit la zone à haute température dans le foyer et augmente la concentration localisée en oxygène dans la zone de combustion, avec pour résultat la formation d'une grande quantité d'oxydes d'azote NOx . On enregistre par conséquent une incompatibilité entre la tendance d'augmentation du rendement de combustion maximum et de diminution de la pollution de l'environnement au minimum

En tenant de ces considérations, les inventeurs ont effectué des recherches intensives pour mettre au point un moyen rationnel permettant de supprimer le mélange rapide du combustible et de l'air de manière à établir une combustion lente ou graduelle permettant de réduire au minimum l'émission d'oxydes d'azote NOx. On a trouvé que, en injectant l'air de combustion dans le foyer de façon à produire un motif d'écoulement dévié asymétriquement par rapport à l'axe du corps d'injection d'air ou de la plaque porte-brûleur, et en limitant la déviation de l'écoulement d'air dans une plage fixe , il était possible d'effectuer la combustion en réduisant efficacement au minimum la formation des oxydes d'azote

NOx tout en augmentant le rendement de combustion, ce qui est également avantageux du point de vue de l'économie d'énergie.

L'invention a en conséquence pour but de fournir un nouveau procédé de combustion avec le minimum d'émission d'oxydes d'azote NOx en utilisant des combustibles gazeux, liquides ou solides dans différents foyers ou chaudières industriels, procédé caractérisé en ce que l'angle de secteur ou d'ouverture d'une zone d'injection de l'air de combustion qui doit être introduit dans un foyer par l'intermédiaire d'une plaque porte-brûleur ou d'un corps d'injection d'air est inférieur à 240° , le sommet dudit angle étant placé sur l'axe de la plaque porte-brûleur ou du corps d'injection d'air, de façon que ledit air de combustion soit injecté dans le brûleur de manière à suivre un trajet d'écoulement dévié asymétriquement par rapport à l'axe de la plaque porte-brûleur ou du corps d'injection d'air.

L'invention a également pour but de fournir un procédé de combustion tel que défini ci-dessus, caractérisé en qu'un combustible est injecté avec déviation en utilisant un brûleur d'injection de combustible dont le conduit d'injection est incliné d'un angle de 5° à 45° par rapport à l'axe du brûleur, ledit brûleur étant appelé "brûleur du type incliné".

L'invention a en outre pour but de fournir un procédé de combustion du type défini ci-dessus, caractérisé en ce que le rapport entre le débit de combustible et le débit d'air de combustion est commandé de façon à être supérieur à 0,3.

L'invention a également pour but de fournir un procédé de combustion du type défini ci-dessus, caractérisé en ce que la position de l'embout de brûleur est déterminée de manière que le rapport (L/D) entre le diamètre (D) de l'ouverture ménagée dans la surface extrême intérieure de la plaque porte-brûleur et la distance (L) séparant la surface extrême intérieure de plaque porte-brûleur de l'embout de brûleur est inférieur à 1,3 pour le brûleur de type incliné et inférieur à 0,8 pour le brûleur de

type normal.

L'invention a également pour but de fournir un procédé de combustion du type défini ci-dessus, caractérisé en ce que la direction de déviation de l'écoulement d'air est déterminée en fonction des positions relatives entre le brûleur et la matière à chauffer de façon que l'écoulement d'air de combustion ne puisse pas arriver directement sur ladite matière

L'invention a en outre pour but de fournir un procédé de combustion du type défini ci-dessus, caractérisé en ce que le combustible est injecté avec déviation en direction du côté qui est placé à l'opposé du centre de gravité de l'écoulement d'air de combustion.

L'invention a également pour but de fournir un dispositif de combustion à deux étages, utilisable avec différents foyers ou chaudières industriels et caractérisé en ce qu'il est prévu, à l'extérieur d'une plaque porte-brûleur, qui est pourvue d'un brûleur et d'un passage d'entrée d'air de combustion primaire entourant ledit brûleur, des passages d'entrée d'air de combustion secondaire, et en ce que l'angle d'ouverture de la zone d'injection d'air correspondant auxdits passages d'entrée d'air secondaire est inférieur à 240° , le sommet dudit angle étant placé sur l'axe de la plaque porte-brûleur.

L'invention a en outre pour but de fournir un dispositif de combustion à deux étages, utilisable avec différents foyers ou chaudières industriels et caractérisé en ce qu'il est prévu, à l'extérieur d'une plaque porte-brûleur, pourvue d'un brûleur et d'un passage d'entrée d'air de combustion primaire entourant ledit brûleur, des passages d'entrée d'air de combustion secondaire et en ce que l'angle d'ouverture de la zone d'injection d'air de chacun desdits passages d'entrée d'air primaire et d'air secondaire est inférieur à 240° , le sommet dudit angle étant

placé sur l'axe de la plaque porte-brûleur.

L'invention a en outre pour but de fournir un dispositif de combustion avec le minimum d'émission d'oxydes d'azote NOx , comportant un brûleur placé à l'intérieur d'un corps d'injection d'air et coaxialement par rapport à celui-ci , dispositif caractérisé en ce que ledit corps d'injection d'air est pourvu de trous d'injection d'air de combustion placés dans une zone limitée de façon que l'air de combustion, après avoir été injecté , suive un trajet d'écoulement dévié asymétriquement par rapport audit axe , ledit brûleur étant pourvu d'un trou d'injection de combustible qui est incliné en direction du côté opposé à ladite zone limitée dudit corps d'injection d'air.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention seront mis en évidence dans la suite de la description, donnée à titre d'exemple non limitatif, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

Fig.1 (a) est une vue en coupe schématique montrant un exemple concret d'une structure de brûleur utilisée dans la présente invention,

Fig.1 (b) est une vue de face schématique de ladite structure de brûleur,

Fig.2 (a) est une vue en coupe schématique montrant un autre exemple concret d'une structure de brûleur;

Fig.2 (b) est une vue de face schématique de ladite structure de brûleur ;

Fig.3 est une vue en coupe schématique d'un exemple concret de réalisation d'un brûleur de type incliné ;

Fig.4 est une vue schématique montrant un modèle de combustion conforme à la présente invention;

Fig.5 est un graphique donnant la relation entre la déviation de l'écoulement d'air de combustion et le taux de réduction des oxydes d'azote NOx;

Fig.6 est un graphique donnant la relation entre la déviation de l'écoulement d'air de combustion et la formation d'oxydes d'azote NOx ;

5 Figs.7, 8 et 9 sont des graphiques donnant la relation entre le rapport débit d'air/débit de combustible et la formation d'oxydes d'azote NOx;

Fig.10 est une vue montrant l'installation d'un brûleur dans une zone correspondante ;

10 Figs.11(A) , B et 12(A), (B) sont des graphiques donnant la relation entre la position d'embout de brûleur et la formation d'oxydes d'azote NOx;

Fig.13 est une vue montrant les directions d'injection de combustible dans un brûleur ,

15 Fig. 14(I) à 14(III) sont des graphiques donnant la relation entre les directions d'injection de combustible et la formation d'oxydes d'azote NOx;

Figs. 15(I), (II) montrent un exemple concret de réalisation d'un dispositif de combustion conforme à l'invention;

20 Figs.16(I), (II) représentent un autre exemple concret de réalisation d'un dispositif de combustion conforme à l'invention;

Figs.17(I), (II) sont des graphiques donnant la relation entre la formation d'oxydes d'azote NOx et la production de fumée .

La figure 1(a) est une vue en coupe représentant un exemple de construction d'un brûleur utilisé pour effectuer une combustion conformé-
25 ment à la présente invention. On a désigné par 1 une plaque porte-brûleur et par 2 un corps d'injection d'air qui est fixé dans un trou ménagé dans ladite plaque porte-brûleur. Un brûleur proprement dit 4 est disposé coaxialement dans une cavité ménagée dans le corps d'injection d'air 2 et il est pourvu à son extrémité
30 avant d'un trou d'injection de combustible 3.

Le corps d'injection d'air 2, comme indiqué sur la figure 1 (b), à la différence du corps connu dont toute la partie épaisse se

trouve à l'état ouvert, est fermé à l'exception des trous 5 ménagés dans la partie épaisse le long d'un arc dont le centre est situé sur l'axe du corps 2. En conséquence, de l'air de combustion est injecté dans le foyer, non pas uniformément sur toute la circonférence mais localement par l'intermédiaire desdits trous 5. Il en résulte que, dans les conditions ordinaires où toute la circonférence du corps d'injection d'air est uniformément ouverte, l'air de combustion suit un trajet d'écoulement symétrique par rapport à l'axe/d'injection d'air ou du brûleur (un tel écoulement de l'air de combustion étant appelé "écoulement uniforme") tandis que, lorsque l'écoulement d'air est localisé dans la zone ouverte du corps 2, comme indiqué sur les dessins, on fait sorte que l'air injecté dans le foyer suive un trajet d'écoulement dévié asymétriquement par rapport à l'axe du corps d'injection d'air ou de la plaque porte-brûleur. Le degré de déviation d'écoulement est fonction de la grandeur de l'angle d'ouverture (ou angle au centre θ) formé entre deux droites reliant les côtés opposés de la zone d'ouverture. Si l'angle d'ouverture est égal à 360° , l'écoulement d'air résultant correspond à l'écoulement uniforme ordinaire, et il est à noter que, plus l'angle est petit, plus la déviation de l'écoulement d'air est grande. Dans ce cas, le degré de déviation peut être commandé éventuellement en déterminant de façon appropriée le nombre et les positions des trous ménagés dans le corps d'injection d'air. Un autre moyen pour créer une déviation dans l'écoulement d'air consisterait à placer un écran ou un autre organe d'obstruction dans une partie de l'ouverture ménagée dans la plaque porte-brûleur afin d'obturer localement ladite ouverture et d'arrêter ainsi une partie de l'écoulement d'air traversant la plaque porte-brûleur ou le corps d'injection d'air. En variante, il est également possible d'installer un tube coudé en amont et à proximité de l'orifice d'admission d'air de la plaque porte-brûleur en vue de créer un écoulement d'air dévié suivant des principes hydrodynamiques. Conformément à la

présente invention, la zone d'ouverture pour l'injection^{d'air} de combustion qui est définie localement dans la plaque porte-brûleur ou dans le corps d'injection d'air sera appelé^é simplement dans la suite la "zone d'ouverture" tandis que l'angle (ou angle au centre
5 θ) formé par ladite zone d'ouverture sera appelé "l'angle d'ouverture"), cet angle servant de référence pour indiquer le degré de déviation de l'écoulement d'air injecté. Sur la figure 1(b), les trous 5 ont été représentés comme étant placés dans la moitié
10 inférieure du corps d'injection d'air afin de créer un écoulement d'air dévié dans la région inférieure mais, comme cela sera précisé dans la suite, la région où un écoulement d'air dévié est établi peut être déterminée à volonté. Par exemple, on peut prévoir les trous 5 dans la région supérieure ou bien dans la région de droite ou de gauche du corps d'injection d'air.

15 La plaque porte-brûleur ou le corps d'injection d'air utilisé dans la présente invention peuvent avoir une forme rectangulaire, comme le montre la figure 2, auquel cas également, comme sur la figure 1, il est possible de commander le degré de déviation par l'angle d'ouverture θ de ladite zone d'ouverture.

20 Conformément à la présente invention, l'injection déviée d'air de combustion dans un foyer est destinée à supprimer le mélange rapide du combustible et de l'air de combustion, comme décrit ci-dessus, en vue de maintenir une condition de combustion lente tout en assurant l'auto-circulation des gaz brûlés. Dans ce
25 brut, l'angle d'ouverture est limité à une valeur d'environ 240° , comme cela sera précisé dans la suite.

Le brûleur utilisé dans la présente invention peut être un brûleur ordinaire (qui sera appelé dans la suite "brûleur de
30 type droit : "), dans lequel le trou d'injection de combustible ménagé dans l'embout est aligné avec l'axe du brûleur ; cependant, on peut avoir affaire à un autre type de brûleur tel que celui représenté sur la figure 3, où le trou d'injection de combustible 3 est incliné d'un angle fixe α par rapport à l'axe du brûleur

A (ce brûleur étant appelé dans la suite "brûleur de type incliné").

La figure 4 représente schématiquement un modèle de combustion créé dans un dispositif de combustion pourvu d'une structure de brûleur telle que celle de la figure 1 (le brûleur utilisé étant un brûleur de type incliné tel que celui de la figure 3). Sur cette figure, l'air A de combustion est injecté par l'intermédiaire d'une zone d'ouverture ménagée dans la région inférieure d'un corps d'injection d'air 2 de manière à pénétrer dans le foyer à partir de la moitié inférieure de la plaque porte-brûleur 1. Le combustible F est injecté du côté où se trouve moins d'air de combustion A, en passant par la moitié supérieure de l'ouverture de plaque porte-brûleur avant de pénétrer dans le foyer. Il en résulte que le mélange de l'air de combustion avec le combustible est effectué graduellement, de sorte que la combustion se déroule lentement, par comparaison au cas où il est prévu un écoulement uniforme d'air de combustion. En outre, dans ce processus de combustion, les gaz brûlés G, comme indiqué, sont propulsés dans le courant d'air de combustion A par la force vive de ce dernier et, en outre, il se produit très efficacement ce qu'on appelle une " auto-circulation des gaz brûlés".

Conformément au procédé selon l'invention, la combustion lente créée par le mélange graduel du combustible et de l'air coopère avec l'auto-circulation des gaz brûlés pour produire un effet synergétique, qui établit une distribution uniforme de la température de flamme sans qu'il se produise une région localisée à haute température dans la zone de combustion. Il est ainsi possible d'obtenir une réduction notable des oxydes d'azote NOx dans des conditions de combustion satisfaisantes.

L'effet de réduction des oxydes d'azote NOx dépend dans une large mesure du degré de déviation de l'écoulement d'air de combustion. Lorsqu'il est trop grand, l'angle d'ouverture θ de la zone d'injection d'air de combustion réduit l'espace avec moins d'air de combustion près du brûleur d'injection de combustible de sorte que la majeure partie du

combustible injecté se mélange déjà avec l'air de combustion, ce qui se traduit par un déroulement rapide de la combustion et par une diminution du degré d'auto-circulation des gaz brûlés. Pour obtenir une combustion satisfaisante avec le minimum de formation d'oxydes d'azote NO_x , il faut donner à l'air le degré nécessaire de déviation en vue d'obtenir les effets souhaitables définis ci-dessus. Dans ce but, il faut limiter l'angle d'ouverture θ de la zone d'injection d'air à environ 240° , comme cela sera précisé dans la suite .

10 La figure 5 est un graphique donnant les résultats d'un essai effectué pour montrer l'influence du degré de déviation de l'écoulement d'air de combustion sur la diminution des oxydes d'azote NO_x cet essai ayant été réalisé en utilisant un foyer de combustion expérimental de 1 m de diamètre et de 4 m de longueur .(On a utilisé
15 un brûleur et une plaque porte-brûleur du type indiqué sur la figure 1). On a adopté dans cet essai les conditions de combustion suivantes:

Combustible : gaz butane ; régime de combustion: 40×10^4 kcal/h; température de foyer : $1300-1350^\circ\text{C}$; rapport combustible/air:1,15;
20 température de l'air de combustion préchauffé: 320°C ; et type de brûleur : type droit ou type incliné (dans chaque cas, brûleur à un seul trou).

Sur la figure 5, une courbe (I) correspond à l'utilisation du brûleur droit tandis que les courbes (II) et (III) correspondent
25 à l'utilisation du brûleur de type incliné , l'angle d'inclinaison étant respectivement de 15° et 30° (angle d'élévation). En ordonnées , on a porté les valeurs, exprimées en pourcentage, du taux de diminution de formation des oxydes d'azote NO_x lorsque l'air de combustion suit un modèle d'écoulement uniforme (la
30 quantité d'oxydes d'azote NO_x formée dans le cas d'un modèle d'écoulement uniforme étant de 108 ppm pour le brûleur de type droit, de 80 ppm pour le brûleur du type incliné à 15° , et 56 ppm

- pour le brûleur du type incliné à 30°). Comme le montre le graphique, sur lequel on a porté en abscisses l'angle d'ouverture θ , le taux de diminution des oxydes d'azote NO_x augmente à mesure que l'angle d'ouverture θ de la zone d'injection d'air est réduit
- 5 pour augmenter le degré de déviation, indépendamment du type de brûleur; on voit que la quantité de NO_x correspondant à un angle d'ouverture d'environ 240°C ou moins diminue d'environ 20% ou plus par comparaison à la quantité d'oxydes d'azote NO_x produite pour un écoulement d'air uniforme (angle d'ouverture $\theta = 360^\circ$).
- 10 On constate que l'effet de l'utilisation d'un brûleur de type incliné est remarquable, le taux de diminution des oxydes d'azote pour un angle d'ouverture de 120° atteignant une valeur élevée de 80%. Le brûleur de type incliné a pour fonction de permettre un déroulement lent du mélange du combustible et de l'air dans les
- 15 phases initiales de combustion, en diminuant la température maximale de flamme et en permettant le déroulement de la combustion à une température constante, ce qui réduit le degré de formation des oxydes d'azote NO_x . Cet effet du brûleur de type incliné coopère avec l'effet créé par la déviation contrôlée de l'air de combustion
- 20 pour contribuer à diminuer encore la quantité des oxydes d'azote NO_x formée. Pour que le brûleur de type incliné remplisse efficacement sa fonction, on peut choisir l'angle d'inclinaison α dans une plage comprise entre environ 5° et 45° , la valeur la plus avantageuse étant d'environ 30° .
- 25 Le brûleur de type incliné fournit un moyen de diminution de la formation ^{des} oxydes d'azote NO_x du fait qu'il a pour fonction de supprimer le mélange du combustible et de l'air, comme décrit ci-dessus. Généralement, on constate que l'effet de réduction de formation des oxydes d'azote NO_x qui est obtenu en utilisant,
- 30 en combinaison, deux ou plusieurs types de techniques de diminution de NO_x ne correspond pas à la somme de leurs effets individuels. Au contraire, dans le système selon l'invention, l'utilisation combinée de différentes techniques de diminution des oxydes d'azote

N₆x, à savoir le brûleur de type incliné et le contrôle de la déviation de l'écoulement d'air de combustion, crée un effet synergétique se traduisant par une forte diminution de formation des oxydes d'azote NO_x. Un tel effet synergétique peut également être
5 obtenu par utilisation combinée de deux ou plusieurs techniques de réduction de formation des oxydes d'azote NO_x qui vont être décrites dans la suite. En conséquence, la présente invention est caractérisée, suivant un aspect, en ce que, à la différence du concept classique généralement admis, l'utilisation combinée
10 de différents types de techniques de diminution de formation des oxydes d'azote NO_x permet d'améliorer encore cet effet de réduction de NO_x.

L'effet de réduction de formation des oxydes d'azote NO_x conformément à la présente invention peut encore être amélioré
15 en utilisant, individuellement ou en combinaison, des moyens de commande de combustion tels que le type de brûleur, le débit d'air, le rapport débit de combustible/débit d'air, la direction d'injection de combustible et la position de l'embout de brûleur, comme cela va être précisé dans la suite.

20 La figure 6 est un graphique indiquant, sous forme de comparaison, les quantités de NO_x (avec conversion en 11% O₂, ce qui est identique dans la suite) qui sont produites lors de l'utilisation de différents brûleurs, l'angle d'ouverture θ de la zone/d'air^{d'injection} de combustion étant modifié dans une machine d'essai de combustion
25 utilisée avec de l'huile lourde (classe C). Les repères indiqués sur le graphique ont été utilisés pour faire la distinction entre les différents types de brûleurs, comme cela est mis en évidence dans le tableau 1.

TABLEAU 1: Conditions de combustion

Débit de combustible *		a	b	c	
5	droit	○	⊙	⊗	
	type de brûleur	10°	△	▲	▴
		incliné	20°	□	■

* - Le débit de combustible varie avec le diamètre du trou d'injection du brûleur utilisé, les débits a, b et c étant tels que b soit égal au double de a et c soit égal au triple de a.

10 Le graphique montre que, lorsque l'angle d'ouverture θ est réduit pour augmenter la déviation, l'effet de diminution de formation des oxydes d'azote NO_x est amplifié, bien qu'on enregistre une certaine différence en correspondance au type de brûleur, et en outre on constate que l'angle d'ouverture θ de 240° ou moins

15 est particulièrement efficace pour réduire l'émission des oxydes d'azote NO_x .

La figure 7 est un graphique donnant la relation entre le rapport débit de combustible/débit d'air et la quantité de NO_x émis dans un essai de combustion effectué en utilisant comme combustible du gaz butane et le degré de déviation de l'écoulement d'air de combustion comme paramètre. Sur le graphique, la courbe (a) correspond au cas où l'écoulement d'air est uniforme (angle d'ouverture = 360°), la courbe b correspond au cas où l'angle d'ouverture est de 180° et la courbe c correspond au cas où

20 l'angle d'ouverture est de 120°. En outre, dans chaque cas, la zone d'injection d'air est positionnée dans la région inférieure du corps d'injection d'air et l'angle d'inclinaison du trou d'injection de combustible ménagé dans le brûleur utilisé est défini par un angle d'élévation. La figure 8 est un graphique

25 donnant le résultat des mesures de quantités de NO_x émis dans un essai de combustion effectué essentiellement dans les mêmes condi-

30

tions que sur la figure 7, excepté qu'on a utilisé comme combustible du gaz de four à coke (3). Cependant, on a donné une valeur de 15° à l'angle α d'inclinaison du trou d'injection de combustible .

5 Comme indiqué sur les figures 7 et 8, bien que la quantité de NOx varie avec la nature du combustible et le type du brûleur, plus le degré de déviation de l'écoulement d'air de combustion est grand, plus la quantité de NOx formés est faible ; il est à noter que, dans le cas de combustibles gazeux, il se produit une réduction notable de la quantité de NOx quand le rapport entre le débit de
10 combustible et le débit d'air est supérieur ou égal à 0,3 , en étant notamment compris entre $0,5/2$. En outre, dans le cas de combustibles liquides, ce rapport de débits a moins d'influence sur la formation de NOx.

La figure 9 est un graphique donnant la relation entre le rapport
15 débit de combustible/débit d'air et la quantité de NOx formés pour différents types de brûleurs, utilisant du gaz butane comme combustible , l'angle d'ouverture θ de la zone d'injection d'air étant de 240° . Sur le graphique, les repaires en forme de "cercle" correspondent à un brûleur du type droit, les repères en forme de
20 "triangle" correspondent à un brûleur du type incliné , avec un angle d'inclinaison α de 15° (ou de 10°) et les repaires en forme de "carré" correspondent à un brûleur de type incliné, l'angle d'inclinaison α étant de 30° (ou de 20°) . Le débit d'air correspondant aux repères hachurés est à peu près égal au double du débit correspondant
25 aux repères non hachurés . On voit que, comme décrit ci-dessus, par intensification de la déviation d'écoulement d'air et augmentation du rapport débit de combustible/débit d'air, on peut obtenir d'excellents résultats dans une plage définie de rapports de débits pour chaque type de combustible .
30 Comme décrit ci-dessus, l'effet de diminution des oxydes d'azote NOx est amélioré en donnant un degré défini de déviation à l'écoulement d'air de combustion et en utilisant un brûleur de type incliné

à la place d'un brûleur de type droit , la réduction optimale de formation des oxydes d'azote NOx étant obtenue en utilisant un brûleur de type incliné dont l'angle d'inclinaison α est d'environ 30°. Cependant, si ce brûleur de type incliné correspondant à un angle d'inclinaison α d'environ 30° est directement utilisé dans une installation, le très grand angle de déviation de l'écoulement de combustible injecté peut parfois provoquer un collage de combustible sur la paroi du foyer ou bien sur la paroi du trou ménagé dans la plaque porte-brûleur , ce qui impose des restrictions à l'angle d'inclinaison qu'il est possible d'adopter en pratique; c'est pourquoi on utilise effectivement des angles compris entre environ 10 et 20°. En outre, le fait que l'écoulement de combustible injecté soit dévié fortement ou non a une influence sur la condition de mélange du combustible et de l'air, en provoquant une modification importante du mélange. Dans de telles circonstances, le contrôle du rapport entre le débit de combustible et le débit d'air est utilisé comme moyen très efficace pour diminuer dans des proportions satisfaisantes la quantité d'oxydes d'azote NOx formés .

Conformément à la présente invention, il est possible de réduire la quantité des oxydes d'azote NOx formés , d'une manière stabilisée, par réglage additionnel de la position de l'embout de brûleur . L'expression "position d'embout de brûleur " se rapporte, comme le montre la figure 10, à la distance L séparant la surface extrême (f), tournée vers l'intérieur du foyer, de la plaque porte-brûleur 1 de l'embout du brûleur 4 . Du point de vue du mélange rapide et uniforme du combustible injecté et de l'air de combustion , de la terminaison précoce de la combustion et de l'élimination de l'endommagement de l'embout de brûleur par la chaleur, cet embout de brûleur doit normalement être placé en arrière de la surface extrême (f) de la plaque porte brûleur , c'est-à-dire dans une position comprise entre environ 1 et 1,5 en faisant intervenir ledit rapport L/D.

La figure 11 est un graphique donnant la relation entre la position d'embout de brûleur et la quantité d'oxydes d'azote NO_x formés lorsque l'angle d'ouverture θ est de 180° et lorsqu'on utilise du gaz butane comme combustible, leurs valeurs numériques indiquées sur l'axe horizontal ou des abscisses représentant la position de l'embout de brûleur. ($L/D = 0$ signifie que l'embout de brûleur affleure la surface extrême intérieure (f) de la plaque porte-brûleur tandis que $L/D < 0$ signifie que ledit embout pénètre dans le foyer). Sur la figure 11 (A), l'écoulement d'air de combustion est uniforme (l'angle d'ouverture θ de la zone d'injection d'air est égal à 360°) tandis que, sur la figure 11 (B), l'écoulement d'air est dévié (l'angle d'ouverture θ est de 180°). On a indiqué dans le tableau 2 les repères prévus sur les graphiques pour faire la distinction entre les types de brûleur (type droit et type incliné) et également entre les débits de combustible à cause des différences entre les diamètres des trous d'injection de combustible.

TABLEAU 2

Débit de combustible *		a'	b'	c'
type de brûleur	droit			
	incliné	15°	—	
		30°		

* Les débits a', b' et c' sont tels que si b' soit égal au double de a' et que c' soit égal à 8 fois a'.

Comme indiqué, lorsque l'écoulement d'air de combustion est uniforme (figure 11 A), le rapprochement de l'embout de brûleur par rapport au foyer a tendance, dans certains cas, à diminuer la quantité de NO_x formés, alors que, dans d'autres cas, il a tendance à augmenter la quantité de NO_x formés, ce qui rend impossible l'obtention d'un résultat défini. Au contraire,

l'effet de diminution des oxydes d'azote NOx formés qui est obtenu en faisant dévier l'écoulement d'air de combustion conformément à la présente invention, est clair et défini, indépendamment du type de brûleur ; en particulier, lorsque L/D est proche de 0 (c'est-à-dire lorsque l'embout de brûleur vient affleurer la surface extrême intérieure (f) du foyer), on observe un excellent effet qui diminue la quantité de NOx formés à peu près de moitié ou en -dessous, à la différence du procédé classique.

La figure 12 est un graphique donnant la relation entre la position de brûleur et la quantité de NOx formée pour le même essai que l'essai de combustion de la figure 11, mais en utilisant comme combustible du gaz de four à coke. Sur le graphique, on a utilisé les repères indiqués dans le tableau 3 pour faire la distinction entre les types de brûleur et entre les diamètres des trous d'injection de combustible.

TABLEAU 3

débit de combustible *		a"	b"	c"	d"
20	droit				
	incliné 15°			—	
	incliné 30°	—		—	

* Les débits a", b", c" et d" sont tels que b" soit égal à deux fois a", c" soit égal à trois fois a" et d" soit égal à quatre fois a".

Comme dans le cas de la figure 11, on a observé une diminution notable de formation de NOx, cet effet étant basé sur le contrôle de la position du brûleur lorsque l'écoulement d'air de combustion est dévié conformément à la présente invention.

En outre, dans le cas des figures 11 et 12, la combustion s'effectue à l'extérieur de la plage optimale de valeurs du rapport débit de combustion/débit d'air de combustible (qui varie avec la

nature du combustible , tel que du gaz butane et du gaz de four à coke, et qui est déterminée en prenant en considération la distribution des températures dans le foyer). Il en résulte que, même lorsqu'on utilise un brûleur du type incliné ou bien des moyens

5 pour rapprocher ce brûleur de la surface extrême intérieure du foyer (en particulier dans le cas de la figure 11 (A) et de la figure 12(A)), la quantité d'oxydes d'azote NOx formés est relativement élevée. En d'autres termes, le moyen de déviation de l'écoulement d'air de combustion, lorsqu'il est utilisé seul ,

10 permet de supprimer l'émission d'oxydes d'azote NOx plus efficacement que le brûleur de type incliné ou le rapprochement dudit brûleur par rapport à la surface extrême intérieure du foyer, indépendamment du rapport entre les débits . (Il est inutile de préciser que, si le rapport de débits est réglé dans la plage

15 optimale de valeurs, l'effet résultant est plus remarquable). Le moyen de déviation de l'écoulement d'air de combustion est également avantageux du point de vue des conditions de combustion du fait qu'il élargit ladite plage optimale .

La raison pour laquelle le rapprochement de l'embout de

20 brûleur par rapport à la surface extrême intérieure du foyer est efficace pour diminuer la quantité d'oxydes d'azote NOx formés consiste en ce qu'on empêche le mélange du combustible et de l'air de s'effectuer prématurément à l'intérieur de la plaque porte-brûleur de petit volume et en ce qu'on permet au contraire une

25 progression graduelle dudit mélange dans un large volume, le jet résultant d'air de combustion étant injecté dans le foyer avec une force vive suffisante pour entraîner les gaz brûlés, ce qui permet une génération efficace d'une auto-circulation des gaz brûlés en direction de la zone de combustion. La position où on doit placer

30 l'embout de brûleur pour réduire suffisamment la quantité d'oxydes d'azote NOx formés varie avec le type de brûleur et il est nécessaire que la distance L séparant la surface extrême intérieure (f) du foyer et l'embout de brûleur ne soit pas supérieure à environ 0,8

fois le diamètre de trou D du brûleur de type droit , et ne soit pas supérieure à environ 1,3 fois le diamètre de trou D du brûleur de type incliné (dans chaque cas, il est prévu des positions où l'embout de brûleur fait saillie à l'intérieur du foyer); il est
5 en particulier avantageux que l'embout du brûleur vienne affleurer la surface extrême intérieure du foyer ($L/D=0$). En outre, si l'embout du brûleur pénètre à l'intérieur du foyer, il est souhaitable que l'angle du trou divergent qui est ménagé dans la plaque porte-brûleur (c'est-à-dire l'angle formé par le trou incliné
10 avec la surface de paroi intérieure de la plaque porte-brûleur) soit inférieur ou égale à 45° , en vue d'établir une combustion satisfaisante et de réduire efficacement la formation des oxydes d'azote NOx.

On peut encore amplifier l'effet de diminution de l'émission
15 des oxydes d'azote NOx , conformément à la présente invention, par un réglage de la direction d'injection du combustible sortant du brûleur . L'expression " direction d'injection de combustible" se rapporte, comme indiqué sur la figure 13 lorsqu'on utilise un brûleur de type incliné présentant un angle défini d'inclinaison α ,
20 à une direction (a) pour laquelle le trou d'injection de combustible fait un angle d'élévation α avec un plan horizontal H passant par l'axe A de la plaque porte-brûleur ou du corps d'injection d'air, à une direction (b) pour laquelle il fait un angle α avec ledit plan horizontal, ou bien à une direction (c) ou (d) qui est déviée vers
25 la gauche ou vers la droite dudit plan horizontal H. En résumé, cette expression se rapporte à la direction d'inclinaison du trou d'injection de combustible par rapport à l'axe A .

Les figures 14(I)-(III) sont des graphiques donnant la relation pour la direction d'injection du combustible et la quantité
30 de NOx formés quand l'écoulement d'air de combustion est dévié et quand la direction d'injection de combustible , lors de l'utilisation d'un brûleur de type incliné, est modifiée (on a utilisé comme combustible du gaz butane). Les conditions de combustion ont été

prises en évidence dans le tableau 4 ci-dessous.

TABLEAU 4

Figure N°	Corps d'injection d'air		angle d'inclinaison de brû- leur (α°)	
	position de la zone d'ouver- ture	angle d'ouverture (θ°)		
5	I	haute	180	15
	II	haute	120	15
	III	basse	120	15

10 Sur chacune de ces figures, le symbole indiqué en haut et à gauche signale la position de la zone de sortie d'air de combustion dans le corps d'injection d'air, la partie hachurée représentant la zone d'ouverture et l'angle au centre θ définissant l'angle d'ouverture de ladite zone d'ouverture. L'axe horizontal de chaque graphique représente la direction de combustible exprimée en valeurs

15 angulaires ($^\circ$). Par exemple, si ledit angle est de 0° (ou de 360°), cela signifie que la direction (b), figure 13, d'orientation du trou d'injection fait un angle d'élévation α avec le plan vertical V passant par l'axe A; un angle de 90° signifie que la direction (c) se trouve dans le plan horizontal H, un angle de

20 180° signifie que la direction (a) fait un angle α dans le plan vertical V tandis qu'un angle de 270° signifie que la direction (d) se trouve dans le plan horizontal H. Sur le graphique, les repères non teintés se rapportent au cas où la position de l'embout de brûleur est réglée de telle sorte que $L/D = 0$, tandis que les

25 repères teintés se rapportent au cas où ladite position est réglée de telle sorte que le rapport $L/D = 1,0$ (figure 10).

Comme le montrent lesdites figures, lors de l'injection du combustible dans une zone autre que celle où est introduit un écoulement d'air de combustion dévié, notamment sur le côté opposé

audit écoulement d'air dévié (par exemple si la partie inférieure du corps d'injection d'air est ouverte et si l'air de combustion dévié est introduit dans ladite partie , le trou d'injection de combustible dans le brûleur est orienté dans la direction (a) de la figure (13) , on peut obtenir une diminution substantielle de la quantité d'oxydes d'azote NOx formés .

En ce qui concerne les directions d'injection de l'air de combustion et du combustible, il est possible de les régler relativement de façon que lesdites directions ne puissent pas coïncider l'une avec l'autre. Ainsi, tant que la direction d'injection du combustible est déterminée en tenant compte de la direction de déviation de l'écoulement d'air de combustion, cet air peut être injecté dans la partie supérieure , la partie inférieure, la partie latérale de droite ou bien la partie latérale de gauche du corps d'injection d'air ou bien dans toute direction désirée. Cependant, lorsque la matière à chauffer dans le foyer ou four, par exemple de l'acier, est soumise à l'écoulement d'air, elle est refroidie par celui-ci, ce qui présente un inconvénient du point de vue de l'efficacité du chauffage. Pour remédier à cette difficulté, il est souhaitable de déterminer la déviation de l'écoulement d'air en fonction des positions relatives entre le brûleur et la matière en acier , afin que ledit écoulement d'air n'arrive pas directement sur l'acier.

On va maintenant décrire d'autres exemples de moyens permettant de diminuer efficacement la quantité d'oxydes d'azote NOx émis.

La fig.15 (I) est une vue en coupe d'un mode de réalisation du dispositif de combustion selon l'invention tandis que la figure 15 (II) montre l'agencement des orifices d'injection d'air dans les passages d'entrée d'air de combustion qui sont prévus sur le côté intérieur d'un foyer ou d'un four . On a désigné par 1' un brûleur d'injection de combustible , par 2' un passage d'entrée d'air de

combustion primaire entourant le brûleur, par 3' une plaque porte-brûleur, par 4' des passages d'entrée d'air de combustion secondaire qui sont disposés à l'extérieur de ladite plaque porte-brûleur et par 5' des valves (ou registres) de commande d'écoulement de l'air de combustion secondaire. Le symbole \perp désigne l'axe du brûleur 1' ou de la plaque porte-brûleur 3'. Comme indiqué, le passage d'entrée d'air primaire 2' débouche autour de toute la périphérie extérieure du brûleur 1' tandis que la zone d'ouverture des passages d'entrée d'air secondaire 4' est définie par plusieurs trous d'écoulement 4' qui sont répartis dans l'angle d'ouverture θ , c'est-à-dire un angle au centre θ qui est délimité par des droites reliant les côtés opposés de la zone d'ouverture à l'axe de la plaque porte-brûleur. Cet angle d'ouverture θ est inférieur ou égal à 240° , comme cela sera précisé dans la suite. Sur la figure 15 (II), on a représenté cinq trous d'écoulement, mais il va de soi qu'on peut augmenter ou diminuer de façon appropriée ledit nombre de trous dans la plage de l'angle d'ouverture θ . Il est également possible d'utiliser un seul trou incurvé s'étendant le long d'un arc sous-tendant ledit angle θ .

Dans le dispositif de combustion en deux étapes de type classique, puisque les passages d'entrée d'air primaire et d'air secondaire ont des embouchures qui entourent complètement le brûleur, l'écoulement d'air de combustion/est injecté dans le foyer ou four est symétrique par rapport à l'axe de la plaque porte-brûleur ou bien est uniforme. D'autre part, dans le dispositif conforme à l'invention, puisque la zone d'ouverture des passages d'entrée d'air secondaire est limitée à une plage définie par l'angle d'ouverture θ , l'écoulement total d'air de combustion injecté à partir des passages d'entrée d'air primaire et d'air secondaire prend un modèle dévié asymétriquement par rapport à l'axe du brûleur. La déviation de l'écoulement d'air est amplifiée évidemment à mesure qu'on diminue l'angle d'ouverture θ . Il est possible

de contrôler l'amplification de déviation de l'écoulement d'air en agissant non seulement sur l'angle d'ouverture θ mais également sur le diamètre, le nombre et les positions des trous d'écoulement.

Conformément à la présente invention, puisque le but de l'in-
5 jection d'air de combustion dans le four ou foyer suivant un modèle d'écoulement dévié consiste à éviter un mélange prématuré du combustible et de l'air de combustion, tant que cet objectif est atteint, la position de l'embouchure des passages d'entrées d'air n'est pas limitée à la partie supérieure de la plaque porte-brûleur,
10 comme indiqué sur la figure 15, mais au contraire ces embouchures peuvent être situées dans la partie inférieure ou bien dans la partie latérale de droite ou bien dans la partie latérale de gauche du brûleur. Dans l'agencement indiqué sur la figure 16, les passages d'entrée d'air secondaire 4" sont disposés de manière à entourer
15 complètement l'axe de la plaque porte-brûleur, chaque passage d'entrée d'air étant pourvu d'une valve (ou registre) de commande d'écoulement d'air 5" servant à définir une zone d'ouverture ayant un angle d'ouverture désiré θ , dans une position désirée entourant circonférentiellement l'axe de la plaque porte-brûleur par ouverture
20 et fermeture du passage d'écoulement par la manoeuvre desdites valves.

Conformément au procédé selon l'invention, il est possible, tout en réduisant au minimum l'émission des oxydes d'azote NOx, comme décrit ci-dessus, d'empêcher efficacement l'émission de fumées en vue de produire une combustion satisfaisante avec une perte
25 calorifique minimale. Les figures 17(I) et (II) sont des graphiques donnant la relation entre les quantités d'oxydes d'azote NOx et de fumée émises, les résultats ayant été obtenus dans des essais de combustion effectués en utilisant différents types de brûleurs et également du gaz butane comme combustible/^{dans}(I) et de l'huile lourde
30 (classe C) dans (II). Sur les graphiques, les repères en forme de cercle correspondent à l'utilisation d'un brûleur du type droit, tandis que les repères en forme de triangle et de carré correspondent à l'utilisation de brûleurs du type incliné, ayant des angles

respectifs d'inclinaison α de 15° et 30° . (Les repères non teintés correspondent au cas où l'écoulement d'air de combustion est uniforme tandis que les repères teintés correspondent au cas où il existe un degré de déviation défini par un angle d'ouverture α de 180°). La direction d'injection du combustible par les brûleurs du type incliné a été la direction (a) de la figure 13. Dans chaque cas, la zone d'ouverture servant à dévier l'écoulement d'air de combustion a été la partie inférieure du corps d'injection d'air. Comme le montre la figure 17 (I), dans le cas classique où l'écoulement d'air de combustion n'est pas dévié (courbe (i)) la quantité d'oxydes d'azote NO_x émis ne peut pas être réduite à moins d'environ 50ppm sans production de fumée, alors que, grâce au procédé selon l'invention, aucune fumée n'est produite même lorsque la quantité d'oxydes d'azote NO_x émis est réduite jusqu'à environ 20 ppm. La figure 17 (II) se rapporte au cas où on a utilisé comme combustible de l'huile lourde (classe C). Les conditions de combustion et les significations des différents repères utilisés sont les mêmes que pour la figure 17 (I) excepté que l'angle d'inclinaison α du brûleur de type incliné est de 10° (repères de forme triangulaire est de 20°) (repères de forme carrée). La valeur limite d'empêchement d'émission de fumée qui est obtenue par le procédé classique correspond à 100 ppm NO_x , mais au-delà de cette valeur, il faut s'attendre à la production de fumée (courbe) alors que, conformément à la présente invention, on peut réduire l'émission des oxydes d'azote NO_x jusqu'à environ 50 ppm sans génération de fumée et tout en obtenant une combustion satisfaisante.

D'une façon générale pour empêcher la production de fumée, il est nécessaire d'admettre une grande quantité d'air de combustion (oxygène), mais cette augmentation de l'air entrant se traduit également par une augmentation de la quantité de gaz d'échappement. Il en résulte que la quantité de chaleur évacuée

par les gaz d'échappement augmente, ce qui signifie un accroissement des pertes calorifiques et une augmentation des dépenses en combustible . En conséquence, il est souhaitable d'effectuer la combustion avec diminution de la quantité d'air . Conformément à

5 l'invention, puisque l'émission de fumée peut être empêchée efficacement par comparaison au procédé classique comme décrit ci-dessus, on obtient une condition de combustion stabilisée nécessitant une quantité d'air relativement petite, ce qui est très

10 et c'est ce qui contribue à économiser l'énergie.

Ainsi , conformément à la présente invention, un degré défini de déviation de l'écoulement d'air de combustion permet de diminuer efficacement la quantité d'oxydes d'azote NO_x émis et, en combinaison avec d'autres techniques de diminution de l'émission des oxydes

15 d'azote , il est possible de réduire encore cette émission. En outre, on obtient d'une part une distribution uniforme des températures dans le four ou foyer et d'autre part une distribution uniforme du rayonnement de flamme , cette caractéristique étant avantageuse en particulier dans des fours de réchauffage du type "Pit".

20 En outre, on obtient un état de combustion stabilisé, ce qui permet d'effectuer une combustion très économique, d'économiser du combustible, etc....

REVENDEICATIONS

1. Procédé de combustion avec un minimum d'émission d'oxydes d'azote NOx , en utilisant des combustibles gazeux, liquides ou solides dans différents fours ou chaudières industriels , caractérisé en ce que l'angle de secteur ou d'ouverture ⁽⁹⁾ d'une zone d'injection de l'air de combustion qui doit être introduit dans un foyer par l'intermédiaire d'une plaque porte-brûleur ⁽¹⁾ /ou d'un corps d'injection d'air ⁽²⁾ est inférieur à 240°, le sommet dudit angle étant placé sur l'axe de la plaque porte-brûleur ou du corps d'injection d'air, de façon que ledit air de combustion soit injecté dans le brûleur ⁽⁴⁾ de manière à suivre un trajet d'écoulement dévié asymétriquement par rapport à l'axe de la plaque porte-brûleur ou du corps d'injection d'air.

2. Procédé de combustion selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'un combustible est injecté avec déviation en utilisant un brûleur d'injection ⁽³⁾ de combustible dont le conduit d'injection est incliné d'un angle ⁽³⁾ de 5 à 45° par rapport à l'axe du brûleur, ledit brûleur étant appelé "brûleur du type incliné".

3. Procédé de combustion selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rapport entre le débit de combustion et le débit d'air de combustion est commandé de façon à être supérieur à 0,3.

4. Procédé de combustion selon la revendication 1, caractérisé en ce que la position de l'embout de brûleur est déterminée de manière que le rapport (L/D) entre le diamètre (D) de l'ouverture ménagée dans la surface extrême intérieure de la plaque porte-brûleur ⁽²⁾ et la distance (L) séparant la surface extrême intérieure de plaque porte-brûleur de l'embout de brûleur ⁽⁴⁾ est inférieur à 1,3 pour le brûleur de type incliné et inférieur à 0,8 pour le brûleur de type normal .

5. Procédé de combustion selon la revendication 1, caractérisé en ce que la direction de déviation de l'écoulement d'air est déterminée en fonction des positions relatives entre le brûleur ⁽⁴⁾ et la matière à chauffer de façon que l'écoulement d'air de combus-

tion ne puisse pas arriver directement sur ladite matière.

5 6. Procédé de combustion selon la revendication 1, caractérisé en ce que le combustible est injecté avec déviation en direction du côté qui est placé à l'opposé du centre de gravité de l'écoulement d'air de combustion.

10 7. Dispositif de combustion à deux étages, utilisable avec différents fours ou chaudières industriels, caractérisé en ce qu'il est prévu, à l'extérieur d'une plaque porte-brûleur (1), qui est pourvue d'un brûleur (4) et d'un passage d'entrée d'air de combustion primaire (2) entourant ledit brûleur, des passages d'entrée d'air de combustion secondaire (4), et ce que l'angle d'ouverture (θ) de la zone d'injection d'air correspondant auxdits passages d'entrée d'air secondaire est inférieur à 240° , le sommet dudit angle (θ) étant placé sur l'axe de la plaque porte-brûleur.

15 8. Dispositif selon la revendication 7, utilisable avec différents fours ou chaudières industriels, caractérisé en ce qu'il est prévu, à l'extérieur d'une plaque porte-brûleur (1), pourvue d'un brûleur (3) et d'un passage d'entrée d'air de combustion primaire (2) entourant ledit brûleur, des passages d'entrée d'air de combustion secondaire (4), et en ce que l'angle θ d'ouverture de la zone d'injection d'air de chacun desdits passages d'entrée d'air primaire et d'air secondaire est inférieur à 240° , le sommet dudit angle θ étant placé sur l'axe de la plaque-porte-brûleur.

20

25 9. Dispositif de combustion avec un minimum d'émission d'oxydes d'azote NOx, comportant un brûleur (4) placé à l'intérieur d'un corps d'injection d'air (2) et coaxialement par rapport à celui-ci, dispositif caractérisé en ce que ledit corps d'injection d'air⁽²⁾ est pourvu de trous d'injection d'air de combustion (5) placés dans une zone limitée (θ) de façon que l'air de combustion, après avoir été
30 injecté, suive un trajet d'écoulement dévié asymétriquement par rapport audit axe, ledit brûleur étant pourvu d'un trou d'injection de combustible (3) qui est incliné en direction du côté opposé à ladite zone limitée dudit corps d'injection d'air.

1/8

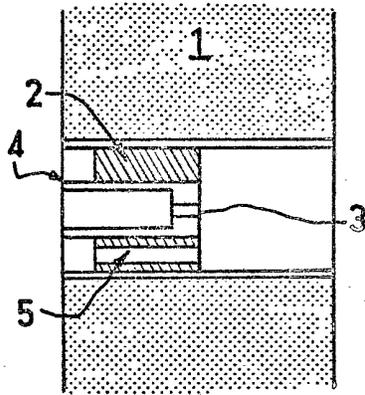


FIG. 1a

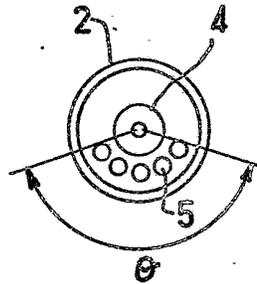


FIG. 1b

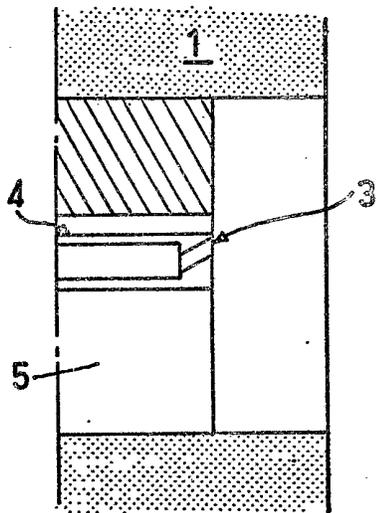


FIG. 2a

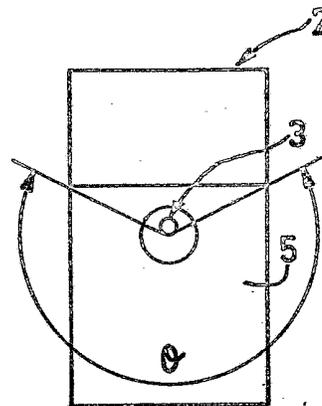


FIG. 2b

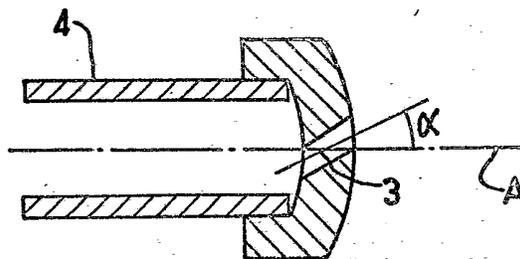


FIG. 3

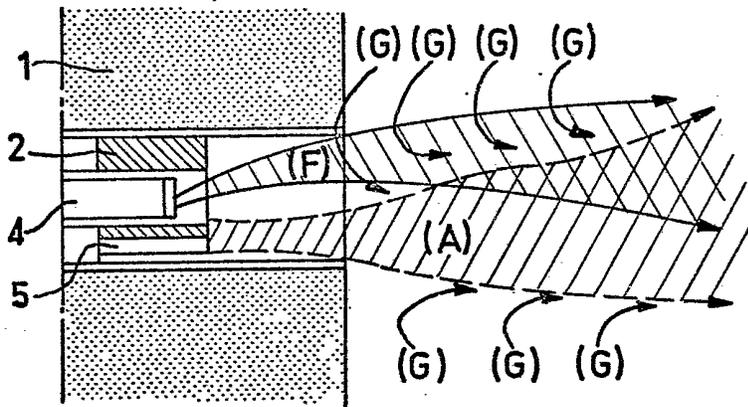


FIG.4

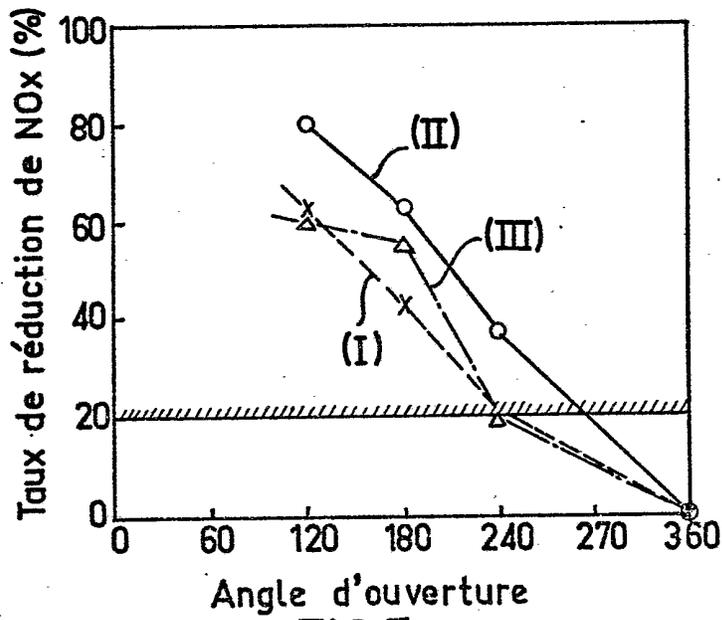


FIG.5

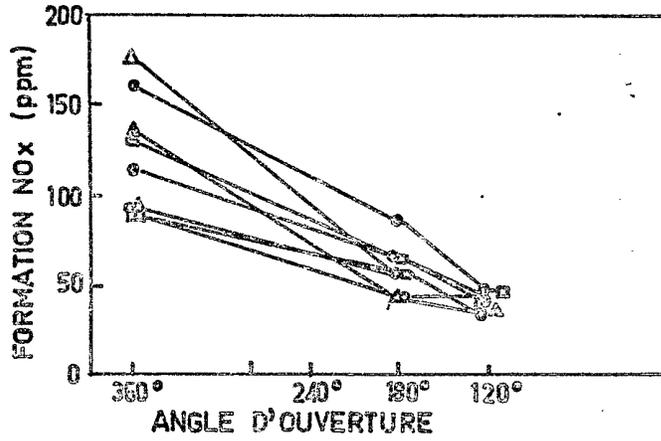


FIG. 6

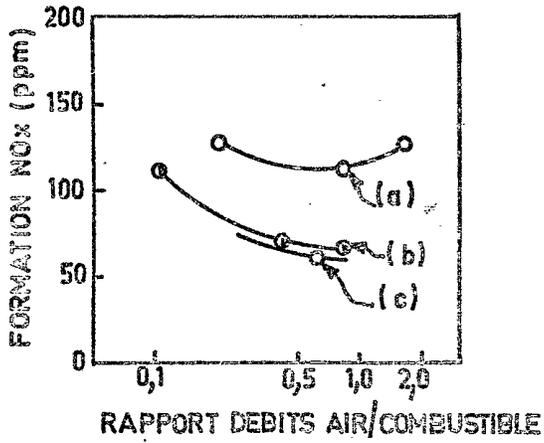


FIG. 7

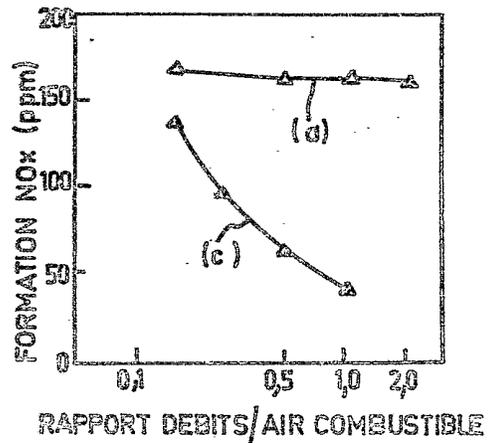


FIG. 8

4/8

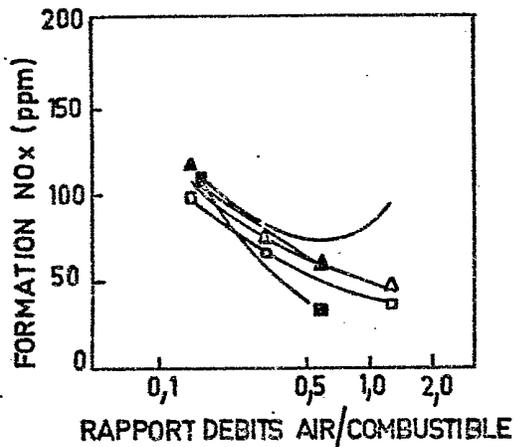


FIG.9

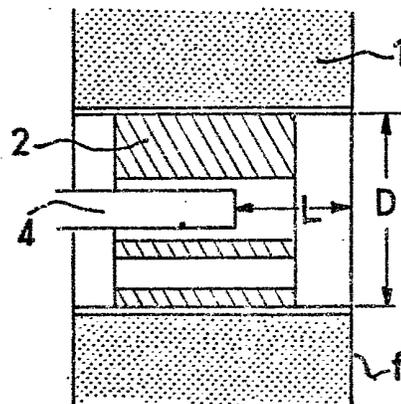


FIG.10

5/8

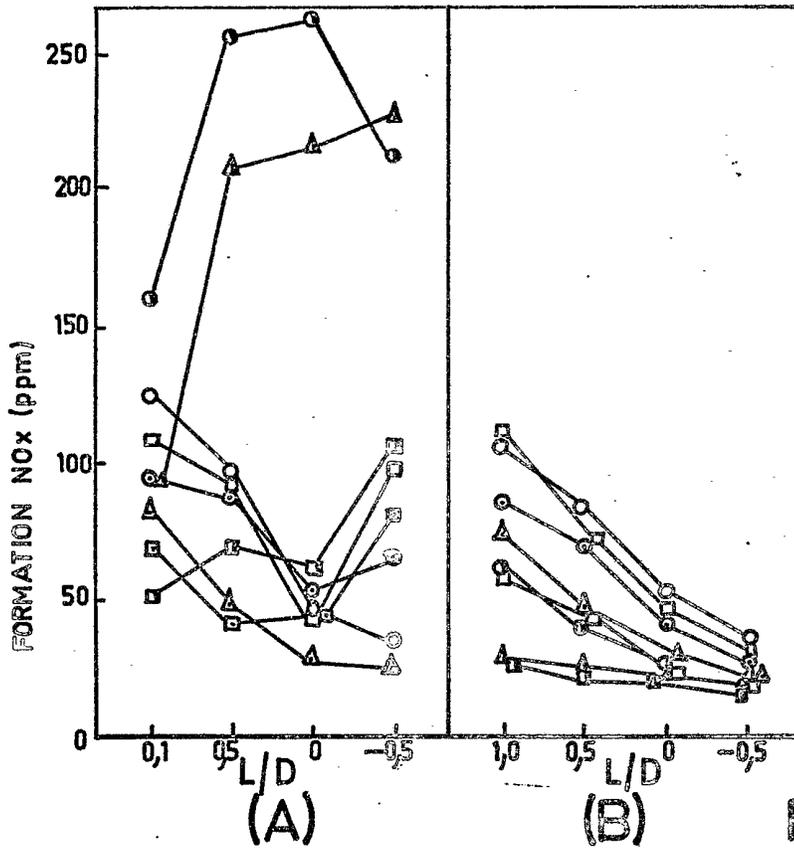


FIG.11

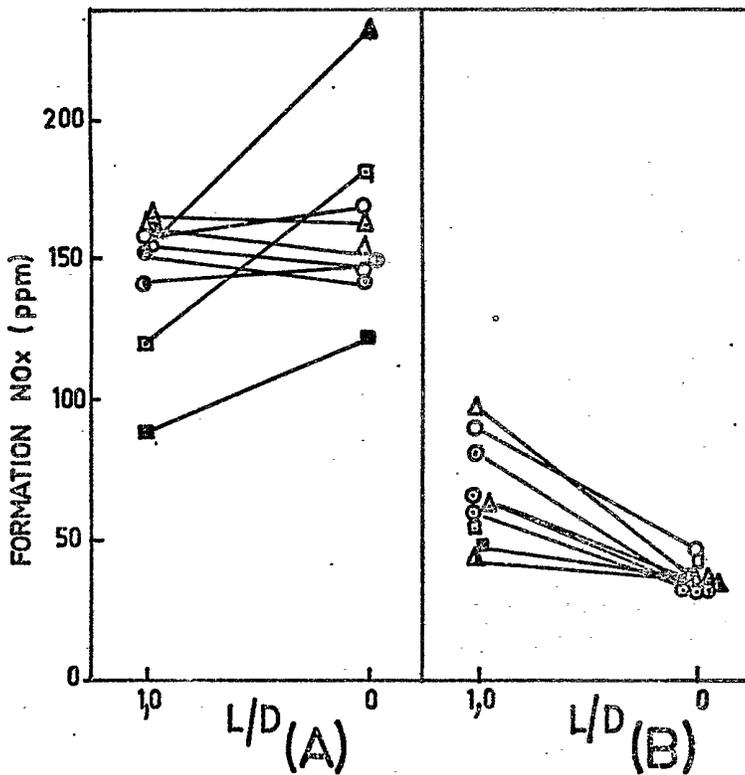


FIG.12

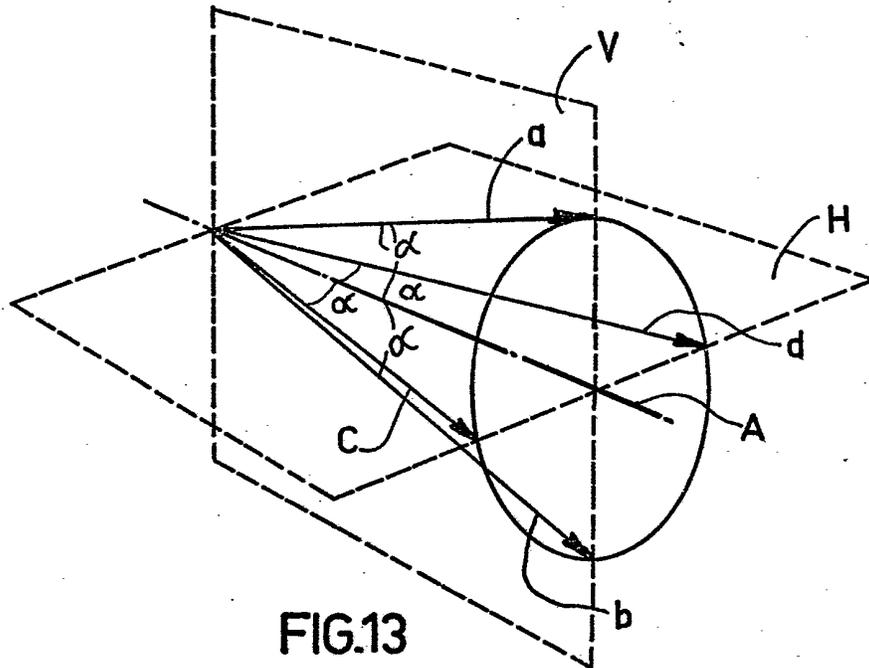


FIG.13

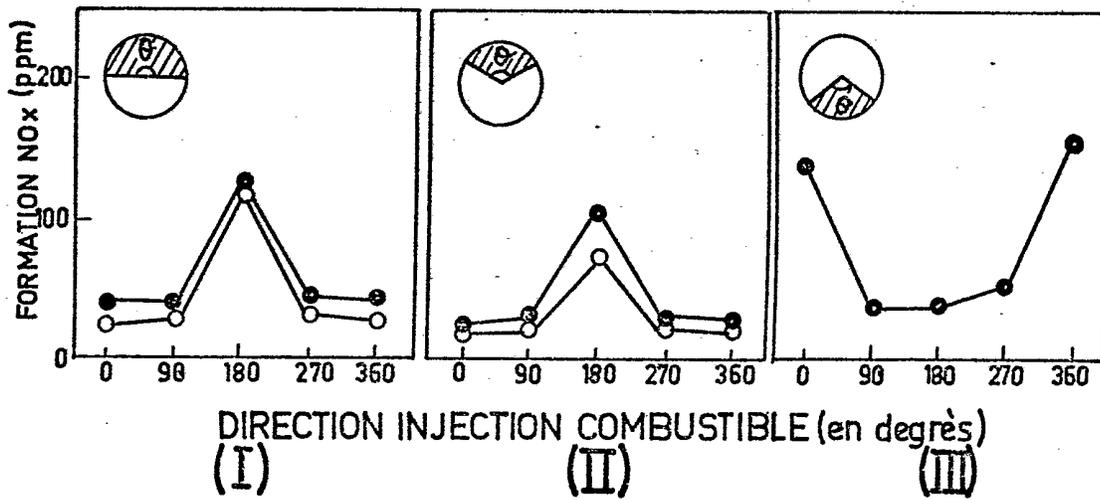


FIG.14

7/8

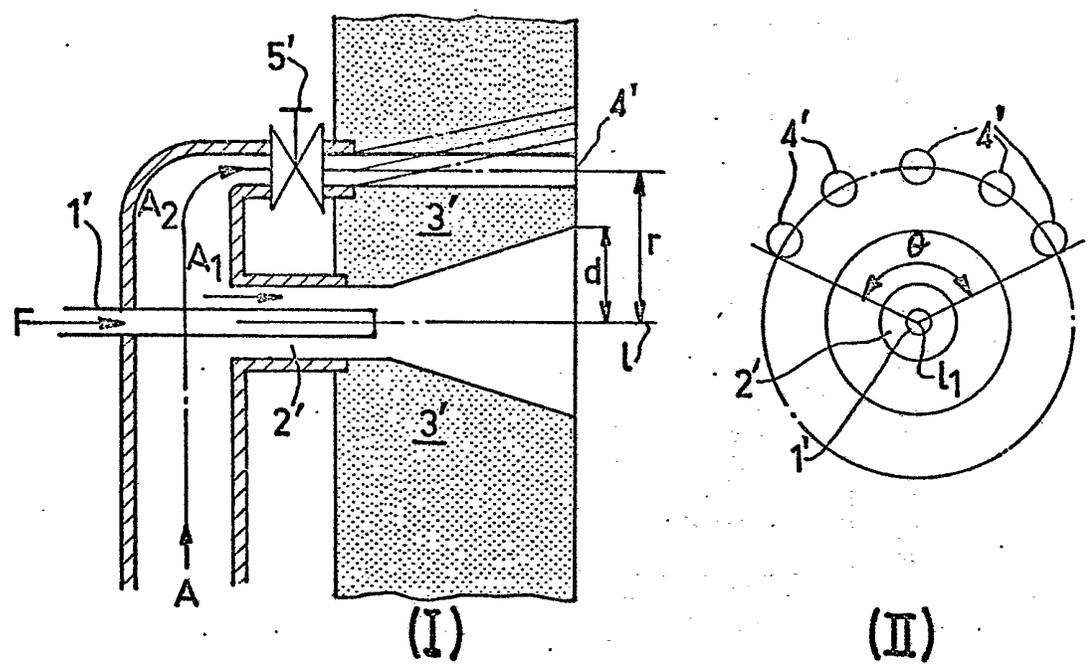


FIG. 15

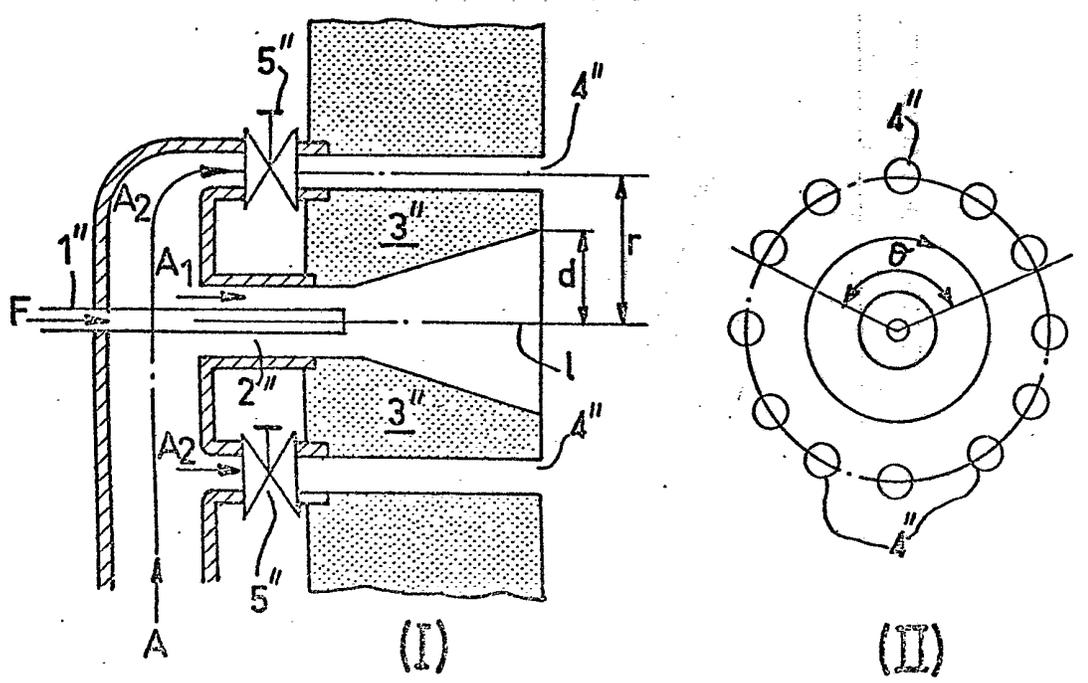


FIG. 16

8/8

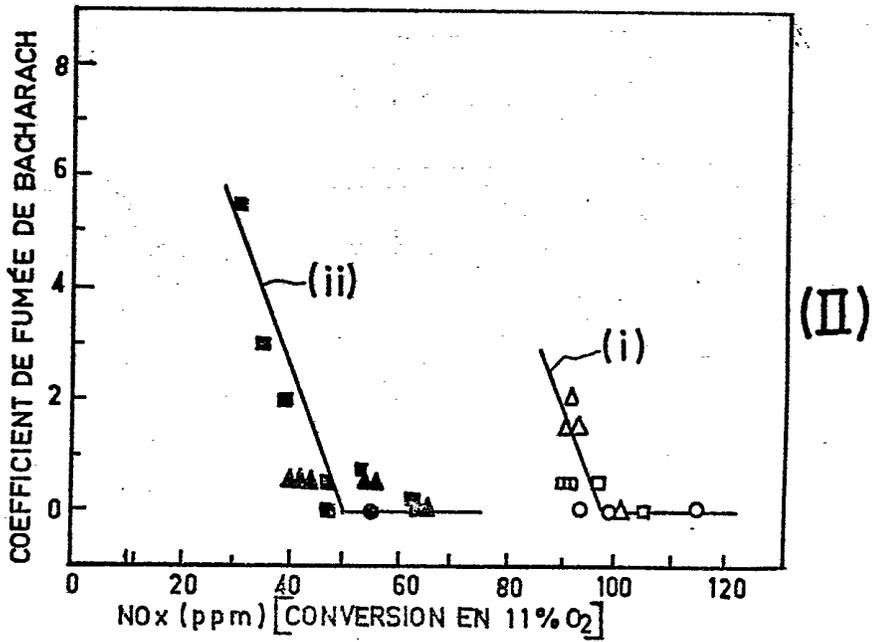
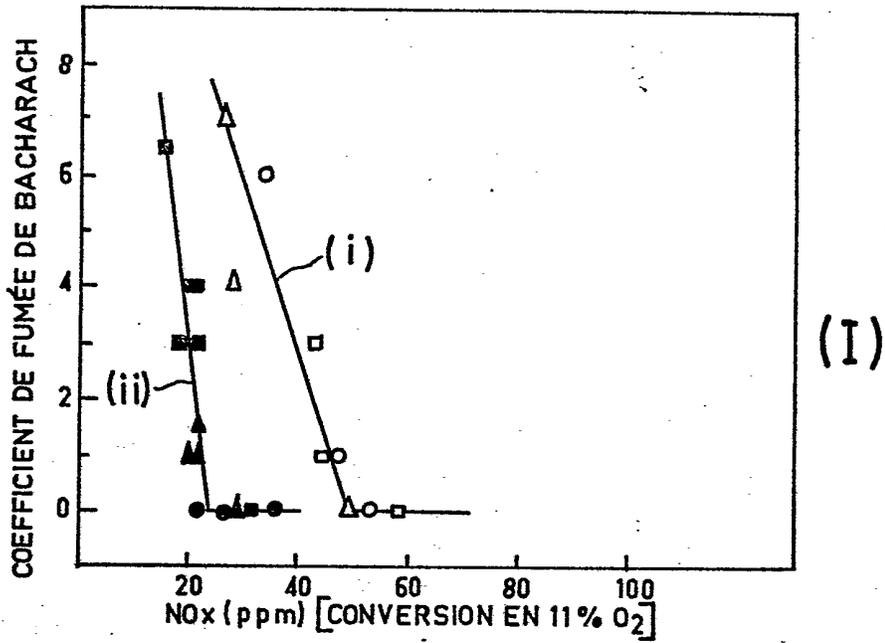


FIG.17