

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 575 551

②① N° d'enregistrement national : **84 19889**

⑤① Int Cl⁴ : G 01 N 27/46; F 23 N 5/00.

①② **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②② Date de dépôt : 27 décembre 1984.

③① Priorité :

④③ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 27 du 4 juillet 1986.

⑥① Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦① Demandeur(s) : BRUNEL Gérald. — FR.

⑦② Inventeur(s) : Gérald Brunel.

⑦③ Titulaire(s) :

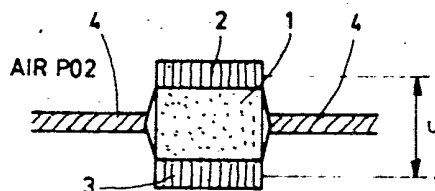
⑦④ Mandataire(s) : Cabinet Bert, de Keravenant et Herrbur-
ger.

⑤④ Dispositif de sonde à oxygène et installation de régulation électronique de combustion équipée d'une telle sonde.

⑤⑦ a. Dispositif de sonde à oxygène et installation de régula-
tion électronique de combustion équipée d'une telle sonde.

b. Dispositif caractérisé en ce qu'il comporte une chambre
17 délimitée par une électrode 13 de l'élément de sonde 10 et
une paroi faiblement poreuse 16, un circuit d'alimentation
électrique de l'élément de sonde 10, 11, 12, 13 par un courant
électrique assurant le transfert de l'oxygène de la chambre 17
vers le milieu M1 pour appauvrir en oxygène le milieu M3 de la
chambre et de mesure de la tension aux bornes 12, 13 de
l'élément de sonde 10.

c. L'invention concerne un dispositif de sonde à oxygène et
installation de régulation électronique de combustion équipée
d'une telle sonde.



FR 2 575 551 - A1

D

"Dispositif de sonde à oxygène et installation de régulation électronique de combustion équipée d'une telle sonde".

La présente invention concerne un dispositif de sonde à oxygène et une installation de régulation électronique de combustion équipée d'un tel dispositif.

Il existe actuellement différents moyens de
5 régler la proportion du mélange entre un combustible et l'air comburant pour arriver à des conditions de combustion optimales ou choisies en fonction de certains paramètres. La plupart de ces installations analysent les gaz de combustion pour régler la composition du mélange combustible.

10 Dans certaines installations comme par exemple les moteurs à combustion interne, dans des pays tels que les ETATS-UNIS, on règle la combustion à des proportions stoechiométriques et on brûle les résidus de combustion par une post-combustion catalytique dans l'échappement. Cette
15 solution offre des avantages quant à la réduction de la pollution mais le rendement thermodynamique n'est pas optimum.

Il est également connu de régler la combustion dans des installations relativement complexes par exemple
20 des installations d'une puissance de l'ordre de 5 000 thermies et plus à fonctionnement continu (nuit et jour). Dans de telles installations, pour arriver au meilleur rendement de la combustion, on analyse les gaz de combustion à l'aide d'une sonde au zirconium.

Une telle sonde (figure 1) se compose d'un élément au zirconium 1, revêtu sur ses deux faces d'une électrode 2, 3, poreuse et laissant arriver les gaz sur la sonde 1 proprement dite. De plus, les deux faces sont
5 séparées de façon étanche l'une de l'autre par ce qui est schématiquement représenté sous la forme d'une cloison 4.

L'une des faces est exposée à l'air dans lequel la pression partielle d'oxygène est égale à P_{O_2} et l'autre est exposée à l'action des fumées dans lesquelles la pression
10 partielle d'oxygène est égale à $P_{O'_2}$. Cette pression partielle $P_{O'_2}$ dépend de la composition du mélange (air comburant + combustible) qui alimente la combustion.

Selon la loi de Nernst, il se forme une tension électrique aux bornes de la sonde. Cette tension U dépend
15 du rapport des pressions partielles P_{O_2} , $P_{O'_2}$ de part et d'autre de la sonde.

Il est ainsi possible de tracer la courbe représentant la fonction $U = f(\lambda)$

λ = coefficient d'air

- 20 Pour une combustion en milieu réducteur $\lambda < 1$
Pour une combustion en milieu oxydant $\lambda > 1$
Pour une combustion en milieu stoechiométrique $\lambda = 1$.

La figure 2 montre la courbe 5 représentant cette fonction. Dans cette figure, les abscisses représen-
25 tant λ et les ordonnées, la tension U .

Cette courbe présente un quasi palier dans sa partie en amont de ($\lambda = 1$), c'est-à-dire par une combustion en milieu réducteur. Au voisinage des conditions stoechiométriques, la pente de la courbe est très accentuée ; la
30 courbe étant pratiquement verticale puis, au delà de cette abscisse $\lambda = 1$, la courbe s'incurve très rapidement pour rejoindre l'axe des abscisses de façon asymptotique. Il est à remarquer que la pente de la courbe est très peu inclinée même au voisinage de l'abscisse $\lambda = 1$.

35 Il est également à remarquer que, comme la loi de Nernst fait intervenir la température, on a des courbes différentes, voire très différentes, suivant la

température des gaz analysés.

Dans ces conditions, pour régler la composition d'un mélange comburant à une valeur λ_1 , par exemple correspondant à un léger excédent d'oxygène, comme cela est
5 souvent recherché et pour pouvoir régler cette composition du mélange combustible en fonction des fluctuations de l'alimentation du combustible ou autres paramètres, on mesure la tension U aux bornes d'une sonde au zirconium et on asservit cette tension sur la valeur de consigne U_1
10 correspondant au coefficient d'air λ_1 .

Or, une telle détection est extrêmement complexe et nécessite la mise en oeuvre de moyens importants :

- pour régler la température des fumées, objet de la mesure,
- 15 - pour mesurer la tension U avec une précision suffisante.

Pour cela, il faut prélever des fumées de combustion dans le conduit de fumées, mettre ces fumées à une température déterminée (par exemple la température T
20 qui correspond à la courbe 5). Puis, comme la pente de la courbe est très faible, au-delà du point $\lambda = 1$, il faut que la mesure de la tension U se fasse avec une précision très poussée sinon l'asservissement sur la valeur de consigne λ_1 se fait avec des excursions très importantes de
25 part et d'autre de la valeur de consigne λ_1 .

Pour remédier à ces difficultés, il faut des circuits électroniques extrêmement coûteux et une sonde très précise donc très coûteuse pour assurer un asservissement correct sur la valeur λ_1 et permettre une régulation
30 électronique correspondante de la combustion.

Or, une telle installation complexe n'est rentable que pour des puissances très élevées de l'ordre de celles indiquées ci-dessus.

La présente invention a pour but de créer une
35 sonde destinée à la régulation de la combustion, en parti-

culier pour des systèmes à brûleur à gaz, ou d'autres combustibles ainsi que tout système thermodynamique qui permettent de régler la combustion de façon extrêmement fine en s'affranchissant des paramètres liés au combustible et sans nécessiter des investissements disproportionnés de façon à pouvoir adapter de tels systèmes de régulation même à de petites chaudières, plus généralement des dispositifs dont il faut régler la combustion.

A cet effet, l'invention concerne un dispositif à sonde à oxygène pour la régulation de combustion, dispositif comportant un élément de sonde à zirconium avec de part et d'autre des électrodes poreuses, destiné à l'analyse du gaz (fumées) d'un milieu M2 par rapport à un milieu de référence M1 (air ambiant) dispositif caractérisé en ce qu'il comporte une chambre délimitée par une électrode de l'élément de sonde et une paroi faiblement poreuse, un circuit d'alimentation électrique de l'élément de sonde par un courant électrique assurant le transfert de l'oxygène de la chambre vers le milieu M1 pour appauvrir en oxygène le milieu M3 de la chambre, et de mesure de la tension aux bornes de l'élément de sonde.

Ce dispositif permet ainsi de simuler des gaz correspondant à la combustion d'un mélange stoechiométrique.

Suivant une autre caractéristique, le circuit d'alimentation électrique de mesure de la tension est un circuit à fonctionnement discontinu assurant l'alimentation en courant électrique de l'élément de sonde pendant un certain temps, puis la mesure de la tension aux bornes de l'élément de sonde.

Suivant une autre caractéristique, le circuit d'alimentation électrique de l'élément de sonde, et de mesure de la tension aux bornes de cet élément est un circuit assurant l'alimentation en continu des électrodes de la sonde et la mesure en continu de la tension aux bornes de cet élément.

Suivant une autre caractéristique, la paroi faiblement poreuse est en contact avec l'électrode et la chambre se limite à l'interface entre la paroi et la surface de l'électrode.

5 Suivant une autre caractéristique, la paroi faiblement poreuse est constituée par une paroi étanche percée d'au moins un orifice recevant une pastille poreuse.

10 Le mode de réalisation est particulièrement intéressant car il permet d'adapter faiblement la porosité de la paroi à la nature du gaz examiné. Cette solution est également avantageuse pour les ambiances très chargées de poussières, puisqu'il suffit de remplacer périodiquement la cartouche.

15 Suivant une autre caractéristique, le circuit d'alimentation électrique est constitué par un redresseur simple alternance alimenté à part du réseau électrique.

20 Il suffit dans ce cas de choisir les paramètres (surface des électrodes, épaisseur des couches, volume de la chambre, capacité équivalente...) de façon que ce dispositif puisse fonctionner à la fréquence du réseau électrique (50 Hz ou 60 Hz). La partie redressée (demi-alternance) fournit dans ce cas le courant de pompage, et la mesure de la tension se fait pendant l'autre demi-alternance.

25 Suivant une autre caractéristique, le dispositif comporte également une paroi faiblement poreuse et définissant une seconde chambre, avec l'autre électrode de l'élément de sonde.

30 L'invention concerne également une installation de régulation électronique de la combustion d'un mélange comburant, , caractérisée en ce qu'elle se compose d'un dispositif à sonde relié à un circuit d'exploitation fournissant des signaux de commande à des moyens de commande (électro-vannes) réglant l'alimentation en combustible
35 d'un brûleur ou d'une chambre de combustion.

Enfin pour tenir compte des phénomènes de vieillissement ou d'encrassage, l'invention concerne également un procédé d'étalonnage. Ce procédé est caractérisé en ce que lorsque l'équipement muni d'un dispositif à sonde est à l'arrêt et que les deux milieux M1, M2 sont l'air ambiant (absence de fumées), arrêt de la combustion) on augmente progressivement l'intensité et/ou la durée de passage du courant de pompage dans les électrodes jusqu'à l'obtention d'un signal indiquant que le coefficient d'air est inférieur à l'unité ($\lambda < 1$) et on déduit de cette valeur de l'intensité d'une nouvelle courbe de correspondance entre l'intensité et le coefficient d'air.

La présente invention sera décrite plus en détail à l'aide des dessins annexés dans lesquels :

- 15 - la figure 1 est un schéma d'une sonde connue,
- la figure 2 est un diagramme de la tension fournie par une sonde connue en fonction de l'atmosphère réductrice, stoechiométrique, ou oxydante du milieu dans lequel est placée la sonde,
- 20 - la figure 3 est un schéma d'un dispositif de sonde selon l'invention,
- la figure 4 est un diagramme servant à expliquer le fonctionnement de la sonde selon l'invention,
- la figure 5 est un schéma d'un système de
- 25 régulation électronique de combustion selon l'invention,
- la figure 6 est un schéma d'une variante d'un dispositif de sonde.

Selon l'invention (figure 1), le dispositif de sonde se compose d'un élément de sonde au zirconium 10 composé du corps 11 avec deux électrodes 12, 13. Cet élément 10 est porté par une paroi 14, de façon que les parties latérales de la sonde soient fermées par les parties 15 de la paroi, pour que les gaz ne puissent agir sur l'élément de sonde qu'en passant à travers des électrodes poreuses 12, 13. Le dispositif comporte une cloison 16 faiblement

poreuse (c'est-à-dire à forte résistance de passage) pour les fumées, par comparaison aux électrodes 12, 13 qui sont très poreuses. Les électrodes 12, 13 sont reliées à un circuit électronique de commande 18 assurant l'alimentation électrique des électrodes 12, 13 et/ou la mesure de tension aux bornes de ces électrodes.

Le dispositif à sonde définit ainsi trois milieux à savoir :

- le milieu M_1 situé du côté de l'électrode 12 dans lequel règne une pression d'oxygène P_1 ,
- le milieu M_2 situé à l'extérieur de la chambre 17 et dans lequel règne une pression partielle d'oxygène P_2 ,
- le milieu M_3 (correspondant à la chambre 17) et dans lequel règne une pression partielle d'oxygène P_3 .

Dans certains cas le volume de la chambre 17 peut être très faible voire quasi nul : il peut s'agir de la surface de contact entre l'électrode 13 et la couche poreuse 16.

Du fait de la porosité importante des électrodes 12 et 13, l'élément au zirconium 10 est soumis sur ses deux faces à des pressions partielles d'oxygène respectivement égales à P_1 et P_3 et le circuit électronique 18 fournit en sortie un signal correspondant à la tension mesurée entre les deux électrodes 12 et 13. Normalement, comme la paroi 16 est poreuse, les atmosphères M_2 et M_3 sont identiques, c'est-à-dire que les pressions partielles d'oxygène P_2 et P_3 sont égales.

Or, selon l'invention, le circuit de commande 18 fait fonction d'élément de sonde 10 de façon inverse, c'est-à-dire en pompe à oxygène. Le circuit 18 fournit en effet un courant électrique à l'élément 10 pour transférer de l'oxygène de la chambre 17 (milieu M_3) vers le milieu M_1 . Comme en fait, le gaz qui pénètre ou se trouve dans le milieu M_3 est pauvre en oxygène, puisqu'il s'agit

des fumées de combustion, il est possible de faire transférer l'oxygène résiduel du milieu M_3 vers le milieu M_1 . Le milieu M_3 devient donc un milieu pratiquement sans oxygène, c'est-à-dire que le dispositif à sonde selon
5 l'invention simule des fumées résultant d'une combustion complète de l'oxygène, c'est-à-dire de la combustion d'une composition stoechiométrique.

Du fait de la chambre 17 et du transfert d'oxygène par l'élément 10, le milieu M_3 est ainsi différent du milieu M_2 . L'inertie créée par le volume de la
10 chambre 17 et la porosité de la paroi 16 est suffisante pour permettre des mesures en fonctionnement discontinu ou en fonctionnement continu.

En fonctionnement discontinu, le circuit 18
15 commande le pompage de l'oxygène dans la chambre 17 pendant une durée déterminée de préférence de façon expérimentale en fonction du volume de la chambre et de la porosité de la paroi 16.

A la fin du cycle de pompage, le circuit 18
20 mesure la tension U aux bornes de l'élément 10 fonctionnant alors comme une sonde.

Le cycle de fonctionnement tient compte non seulement de l'inertie mentionnée ci-dessus mais également des autres phénomènes physico-chimiques au niveau de
25 l'élément de sonde notamment le temps de récupération et les effets de condensateur. Pour cette raison, la chambre 17 est dimensionnée de façon à obtenir un effet d'inertie sur la composition des gaz du milieu M_3 , supérieure aux phénomènes parasites ci-dessus.

30 En fonctionnement continu, on alimente les deux électrodes avec un courant dont l'intensité est ensuite choisie en fonction des considérations développées ci-dessus. Pendant le fonctionnement, on mesure la tension entre les électrodes 12, 13. Cette tension est corrigée
35 de la chute de tension due à la résistance interne de

la sonde traversée par le courant.

Dans le cas du fonctionnement en continu,
le volume de la chambre 17 peut être très faible et
même se limiter à la surface de contact de la paroi 16
5 sur l'électrode 13.

La figure 4 permet d'illustrer le fonction-
nement du dispositif selon l'invention.

Ce diagramme représente la courbe C pour
la fonction $U = f(\lambda)$ et la courbe C' pour la fonction
10 $U' = f(\lambda)$, cette fonction est décalée du fait de la
translation sur les coordonnées engendrées par la chambre
17.

En d'autres termes, le dispositif selon l'in-
vention permet de simuler les conditions d'une combustion
15 stoechiométrique alors qu'en réalité, il y a un excédent
d'oxygène dans le mélange comburant. Grâce à la simulation
selon l'invention, le saut de la courbe C_1 est déplacé à
la verticale de la valeur de consigne λ_1 .

Cela permet donc d'avoir une très forte
20 variation de la tension U de part et d'autre de la valeur
de consigne λ_1 , choisie suivant la combustion à réaliser.

Or, une telle variation de tension constitue
un signal extrêmement intéressant et surtout décelable
avec des moyens électroniques très simples.

25 De plus, et cela est extrêmement important,
grâce à la simulation, il est possible de ne pas tenir
compte de la température des fumées puisque, quelle que
soit cette température, le saut de la courbe se fait
à la verticale de λ_1 .

30 La figure 5 montre une installation de régu-
lation électronique équipée d'un dispositif à sonde 20,
selon l'invention. La sonde 20 reliée au circuit électro-
nique 21 qui commande le moteur 22 de la vanne 23, régule
le débit de gaz dans la conduite 24 alimentant un brûleur
35 ou tout autre système thermodynamique basé sur la combus-
tion (non représenté).

Cette figure 5 montre également que la sonde 20 est placée dans le conduit de fumées 24, l'une des faces de la sonde étant située à l'extérieur, l'autre à l'intérieur du conduit de fumées.

5 Suivant une variante non représentée, la chambre peut être doublée, tout en ayant les deux faces dans les fumées, c'est-à-dire qu'il peut y avoir une chambre pour chaque électrode, ce qui aboutit à une courbe en forme de créneau de part et d'autre de l'axe des ordonnées.

10 Enfin, il est à remarquer que l'électrode 12 située du côté de l'air ambiant constitue une électrode de référence puisque la pression partielle de l'oxygène dans l'air peut être considérée comme constante.

 Cette électrode pourrait également être
15 remplacée par un oxyde métallique par exemple un ensemble palladium/oxyde de paladium.

 Il est de plus à remarquer que la porosité de la cloison 16 délimitant la chambre 17, exposée aux fumées, risque de s'encrasser ou du moins de varier au
20 cours du temps et nécessite un réétalonnage périodique c'est-à-dire une modification de l'intensité et/ou de la durée de passage du courant de transfert d'oxygène dans l'élément de sonde.

 Pour ce faire, suivant une autre caractéristique de l'invention, lors de l'arrêt de la combustion,
25 au moment où les milieux M_1 et M_2 sont équivalents à de l'air ambiant, on augmente l'intensité et/ou la durée du courant de pompage jusqu'à l'obtention d'une pression partielle d'oxygène nulle dans le milieu M_3 et la détection
30 d'un signal.

 A cet instant, l'intensité et/ou la durée enregistrées correspondent suivant une fonction directe à la porosité de la paroi 16 puisque les milieux M_2 et M_3 auront une concentration en oxygène égale respectivement
35 à 21 % (air ambiant) et pratiquement 0 %. De cette valeur

relevée on déduit alors toutes les valeurs d'intensité et/ou de durée du courant qu'il faut appliquer à la sonde pour avoir le réglage souhaité du coefficient λ . Toutes ces opérations et calculs peuvent être faits périodiquement de manière systématique et automatique.

Suivant un mode de réalisation particulièrement intéressant (figure 6) la paroi 16 est constituée par une paroi étanche 31 percée d'un ou plusieurs orifices 32 dans lesquels on fixe des pastilles 33 de matière poreuse. On peut ainsi, par le choix de la section des pastilles 33, de leur épaisseur et de la porosité du matériau, avoir des valeurs de porosité faibles et limiter ainsi l'intensité du courant de pompage.

L'installation de régulation selon l'invention peut se simplifier encore plus dans le cas d'un fonctionnement alternatif avec des cycles successifs comportant des phases de pompage et des phases de mesure, si la fréquence de fonctionnement est égale à la fréquence de l'alimentation électrique (50 Hz, 60 Hz). Il suffit de choisir de façon correspondante les éléments caractéristiques (surface des électrodes 12, 13, épaisseur des couches, volume de la chambre 17, capacité équivalente). Il suffit alors de redresser le courant du secteur par un redressement "simple alternance".

REVENDEICATIONS

1°) Dispositif à sonde à oxygène pour la
régulation de combustion, dispositif comportant un élément
de sonde à zirconium (10) avec de part et d'autre des
5 électrodes (12, 13) poreuses destiné à l'analyse du gaz
(fumées) d'un milieu M2 par rapport à un milieu de
référence M1 (air ambiant), dispositif caractérisé en ce
qu'il comporte une chambre (17) délimitée par une
électrode (13) de l'élément de sonde (10) et une paroi
10 faiblement poreuse (16), un circuit d'alimentation
électrique de l'élément de sonde (10, 11, 12, 13) par
un courant électrique assurant le transfert de l'oxygène
de la chambre (17) vers le milieu (M1) pour appauvrir
en oxygène le milieu M3 de la chambre et de mesure
15 de la tension aux bornes (12, 13) de l'élément de sonde
(10).

2°) Dispositif selon la revendication 1,
caractérisé en ce que le circuit d'alimentation électrique
(18) de mesure de la tension est un circuit à fonctionnement
20 discontinu assurant l'alimentation en courant électrique
de l'élément de sonde (10, 11, 12, 13) pendant un certain
temps, puis la mesure de la tension aux bornes de l'élément
de sonde (10, 11, 12, 13).

3°) Dispositif à sonde selon la revendication 1
25 caractérisé en ce que le circuit d'alimentation électrique
(18) de l'élément de sonde (10, 11, 12, 13) et de mesure
de la tension aux bornes de cet élément est un circuit
assurant l'alimentation en continu des électrodes (12, 13)
de la sonde et la mesure en continu de la tension aux
30 bornes (12, 13) de cet élément.

4°) Dispositif selon la revendication 1,
caractérisé en ce que la paroi (16) faiblement poreuse
est en contact avec l'électrode (13) et la chambre (17)
se limite à l'interface entre la paroi (16) et la surface
35 de l'électrode (13).

5°) Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la paroi faiblement poreuse (16) est constituée par une paroi (31) étanche percée d'au moins un orifice (32) recevant une pastille (33) poreuse.

5 6°) Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que le circuit d'alimentation électrique (18) est constitué par un redresseur simple alternance alimenté à part du réseau électrique.

7°) Dispositif selon l'une quelconque des
10 revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comporte également une paroi faiblement poreuse et définissant une seconde chambre, avec l'autre électrode de l'élément de sonde.

8°) Installation de régulation électronique
15 de la combustion d'un mélange comburant, caractérisée en ce qu'elle se compose d'un dispositif à sonde selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, relié à un circuit d'exploitation (21) fournissant des signaux de commande à des moyens de commande (22) (électro-vannes)
20 réglant l'alimentation en combustible d'un brûleur ou d'une chambre de combustion.

9°) Procédé d'étalonnage d'un dispositif à sonde selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que lorsque l'équipement muni d'un
25 dispositif à sonde est à l'arrêt et que les deux milieux M_1 , M_2 sort l'air ambiant (absence de fumées, arrêt de la combustion) on augmente progressivement l'intensité et/ou la durée de passage du courant de pompage dans les électrodes jusqu'à l'obtention d'un signal indiquant le
30 coefficient d'air est inférieur à l'unité ($\lambda < 1$) et on déduit de cette valeur de l'intensité d'une nouvelle courbe de correspondance entre l'intensité et le coefficient d'air.

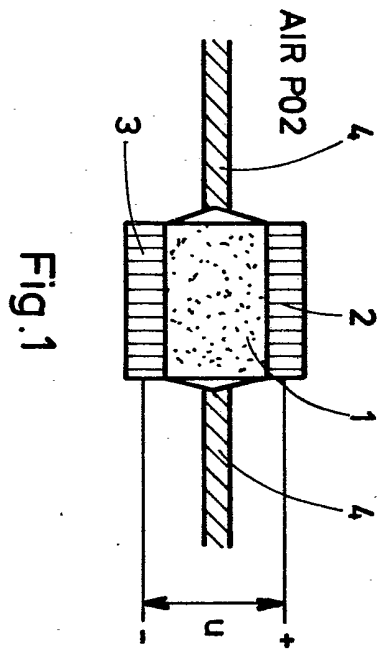


Fig. 1

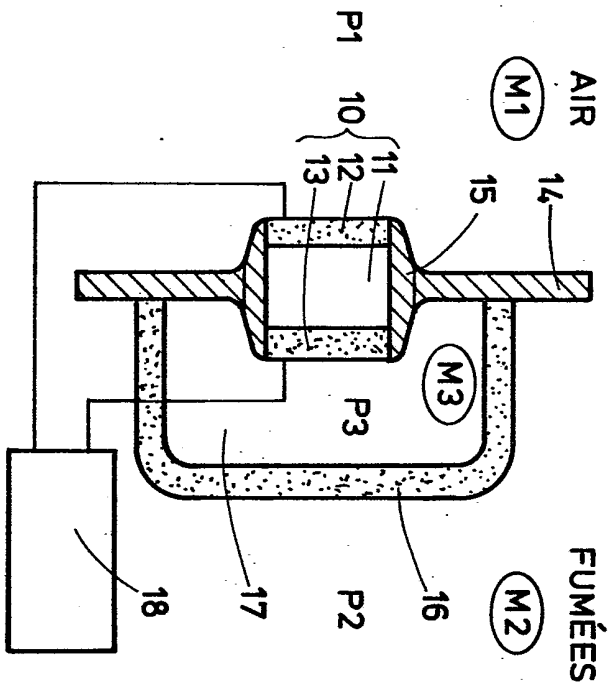


Fig. 3

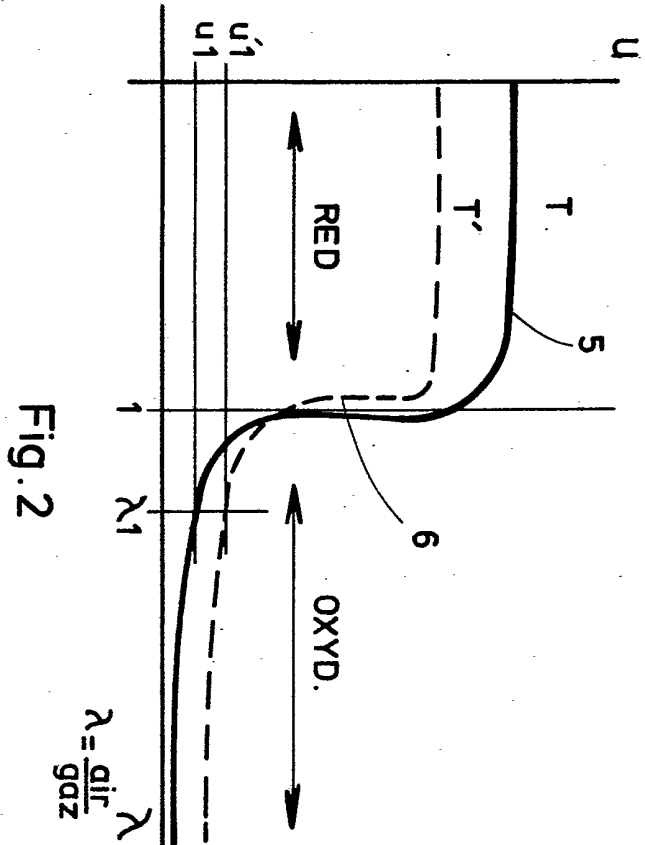


Fig. 2

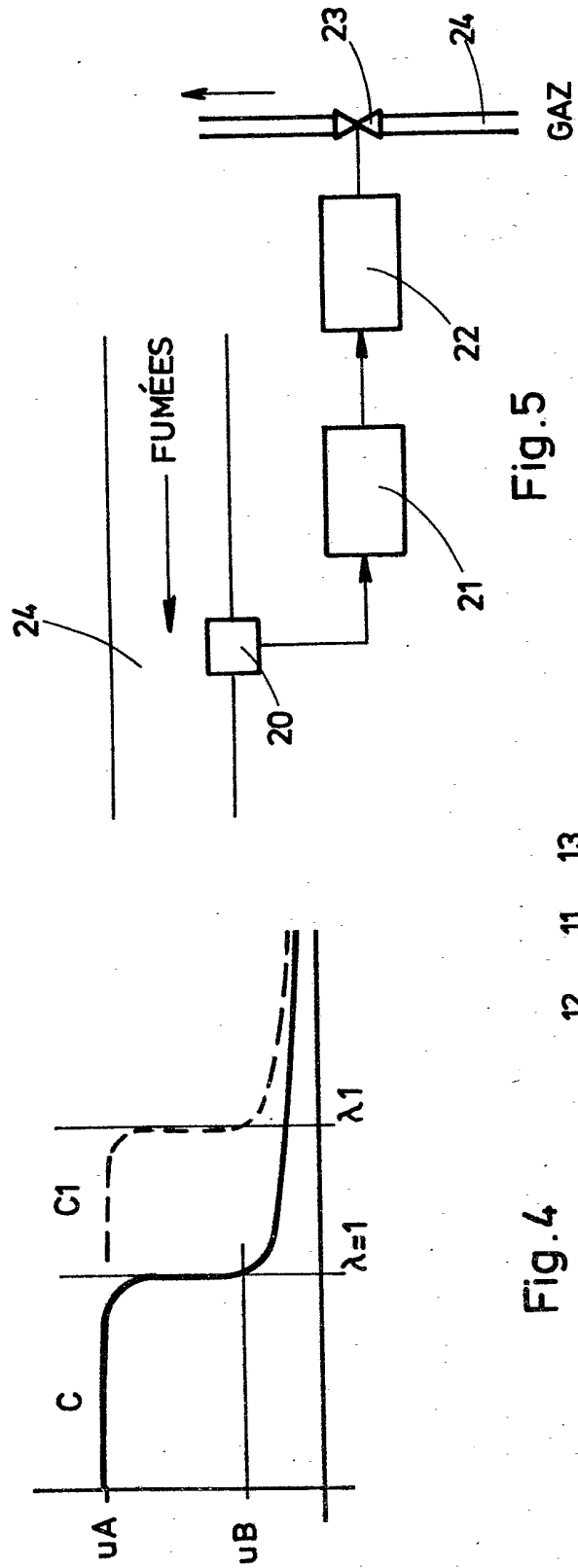


Fig. 4

Fig. 5

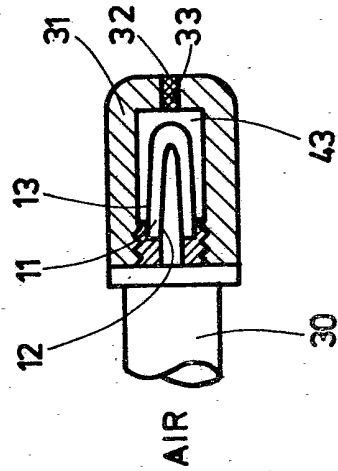


Fig. 6