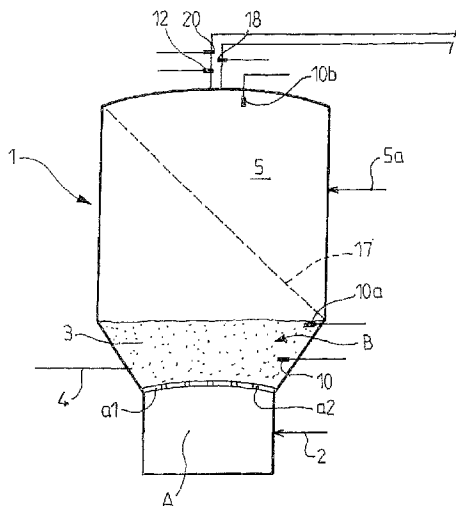




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2013/06/24  
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2014/01/03  
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2021/01/12  
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2014/12/22  
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: IB 2013/055168  
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2014/001992  
(30) Priorité/Priority: 2012/06/26 (FR12 56041)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F23G 5/30* (2006.01),  
*F23N 3/00* (2006.01), *F23N 5/00* (2006.01),  
*F23N 5/02* (2006.01)  
(72) Inventeurs/Inventors:  
PARDO, PIERRE EMMANUEL, FR;  
MORICE, LUDOVIC, FR  
(73) Propriétaire/Owner:  
DEGREMONT, FR  
(74) Agent: ANGLEHART ET AL.

(54) Titre : PROCEDE POUR CONDUIRE LA COMBUSTION DANS UN FOUR AFIN DE LIMITER LA PRODUCTION D'OXYDES D'AZOTE, ET INSTALLATION POUR LA MISE EN ŒUVRE DE CE PROCEDE  
(54) Title: METHOD FOR CONDUCTING COMBUSTION IN A FURNACE IN ORDER TO LIMIT THE PRODUCTION OF NITROGEN OXIDES, AND INSTALLATION FOR IMPLEMENTING SAID METHOD



(57) Abrégé/Abstract:

Procédé pour conduire la combustion dans un four à lit fluidisé, notamment à lit de sable, selon lequel un débit d'air primaire de combustion est soufflé à travers le lit, le combustible étant constitué en particulier de déchets organiques, ou de déchets urbains, ou de boues de stations d'épuration, de l'air secondaire (5a) pouvant être injecté dans l'espace (5) du four situé au-dessus du lit; afin de limiter la production d'oxydes d'azote NOx et de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O : on mesure (12, 20), en sortie du four, la teneur des fumées en protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O et en oxydes d'azote NOx; on contrôle la température du lit fluidisé pour la maintenir à la valeur la plus haute admissible pour laquelle la production de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O est sensiblement réduite, tandis que la production d'oxydes d'azote NOx n'est pas sensiblement augmentée; et on contrôle l'excès d'air dans le lit fluidisé pour le maintenir à la valeur la plus basse admissible pour laquelle la production d'oxydes d'azote NOx est réduite sans nuire à la combustion et à la température du lit.

## (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  
3 janvier 2014 (03.01.2014)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2014/001992 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
*F23G 5/30* (2006.01) *F23N 5/00* (2006.01)  
*F23N 3/00* (2006.01) *F23N 5/02* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/IB2013/055168

(22) Date de dépôt international :  
24 juin 2013 (24.06.2013)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
12 56041 26 juin 2012 (26.06.2012) FR

(71) Déposant : DEGREMONT [FR/FR]; 16 Place de l'Iris -  
Tour CB 21, F-92040 Paris La Defense Cedex (FR).

(72) Inventeurs : PARDO, Pierre Emmanuel; 12, route de  
Chevreuse, F-91400 Orsay (FR). MORICE, Ludovic; 22  
ter, rue Pierre Budin, F-60240 Chaumont En Vexin (FR).

(74) Mandataires : MICHARDIERE, Bernard et al.; 3, ave-  
nue Bugeaud, F-75116 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,  
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,  
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,  
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,  
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,  
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC,  
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

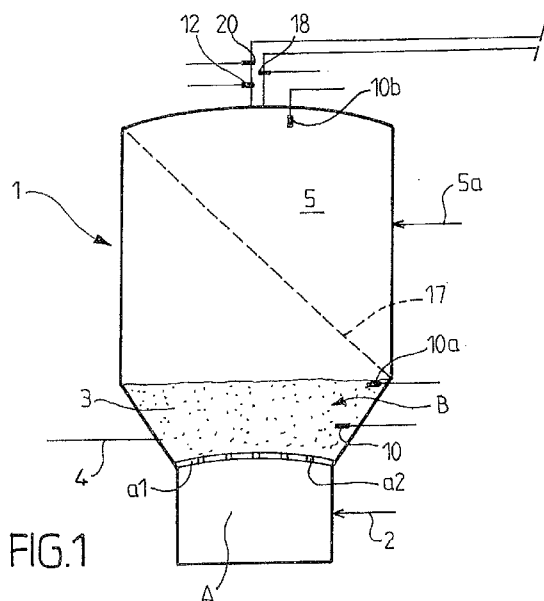
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,  
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,  
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,  
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,  
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,  
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : METHOD FOR CONDUCTING COMBUSTION IN A FURNACE IN ORDER TO LIMIT THE PRODUCTION OF NITROGEN OXIDES, AND INSTALLATION FOR IMPLEMENTING SAID METHOD

(54) Titre : PROCÉDÉ POUR CONDUIRE LA COMBUSTION DANS UN FOUR AFIN DE LIMITER LA PRODUCTION D'OXYDES D'AZOTE, ET INSTALLATION POUR LA MISE EN OEUVRE DE CE PROCÉDÉ



(57) Abstract : A method for conducting combustion in a fluidised bed furnace, in particular having a sand bed, according to which a flow of primary combustion air is blown through the bed, the fuel consisting in particular of organic waste, or of municipal waste, or of sludge from purifying stations, it being possible to inject secondary air (5a) into the space (5) in the furnace located above the bed; in order to limit the production of nitrogen oxides NO<sub>x</sub> and nitrous oxide N<sub>2</sub>O: the nitrous oxide N<sub>2</sub>O and nitrogen oxide NO<sub>x</sub> content of the fumes at the outlet of the furnace are measured (12, 20); the temperature of the fluidised bed is controlled to keep it at the highest admissible value at which the production of nitrous oxide N<sub>2</sub>O is substantially reduced, while the production of nitrogen oxides NO<sub>x</sub> is not substantially increased; and the excess air in the fluidised bed is controlled to keep it at the lowest admissible value at which the production of nitrogen oxides NO<sub>x</sub> is reduced without adversely affecting the combustion and the temperature of the bed.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

**WO 2014/001992 A1**

---

Procédé pour conduire la combustion dans un four à lit fluidisé, notamment à lit de sable, selon lequel un débit d'air primaire de combustion est soufflé à travers le lit, le combustible étant constitué en particulier de déchets organiques, ou de déchets urbains, ou de boues de stations d'épuration, de l'air secondaire (5a) pouvant être injecté dans l'espace (5) du four situé au-dessus du lit; afin de limiter la production d'oxydes d'azote NOx et de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O : on mesure (12, 20), en sortie du four, la teneur des fumées en protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O et en oxydes d'azote NOx; on contrôle la température du lit fluidisé pour la maintenir à la valeur la plus haute admissible pour laquelle la production de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O est sensiblement réduite, tandis que la production d'oxydes d'azote NOx n'est pas sensiblement augmentée; et on contrôle l'excès d'air dans le lit fluidisé pour le maintenir à la valeur la plus basse admissible pour laquelle la production d'oxydes d'azote NOx est réduite sans nuire à la combustion et à la température du lit.

## PROCEDE POUR CONDUIRE LA COMBUSTION DANS UN FOUR AFIN DE LIMITER LA PRODUCTION D'OXYDES D'AZOTE, ET INSTALLATION POUR LA MISE EN ŒUVRE DE CE PROCEDE.

L'invention est relative à un procédé pour conduire la combustion dans un four à lit fluidisé, notamment un lit de sable, selon lequel un débit d'air primaire de combustion est soufflé à travers le lit, le combustible étant constitué en particulier de déchets organiques, ou de déchets urbains, ou de boues de station d'épuration, de l'air secondaire pouvant être injecté dans l'espace du four situé au-dessus du lit.

Lors d'une combustion, contrairement aux oxydes de soufre, aux acides, et aux métaux lourds dont les émissions sont intrinsèquement liées à la teneur du combustible utilisé en soufre, en Cl (chlore), Br (brome), F (fluor), I (iode), et en métaux lourds, la quantité d'oxydes d'azote générée est fonction, dans une certaine mesure, du combustible utilisé, mais également des conditions dans lesquelles s'effectue la combustion. Il n'y a donc pas de relation univoque entre les émissions d'oxydes d'azote et le combustible. Tout au plus, quand on dispose d'une bonne connaissance d'un procédé donné (centrale thermique au charbon, fioul lourd, gaz naturel...), on peut formuler un facteur d'émission qui servira, entre autres, de référence de base aux progrès et aux diminutions des émissions d'oxydes d'azote qui pourraient être obtenus par des recherches et des mises au point ultérieures.

La combustion d'un composé hydrocarboné en plus du dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ , d'eau  $\text{H}_2\text{O}$ , et d'azote  $\text{N}_2$ , s'accompagne donc toujours d'une production d'oxydes d'azote. Ces oxydes sont représentés par le monoxyde d'azote (NO), le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), et par une très faible proportion de dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ).

D'un point de vue environnemental et sanitaire, il est important d'en réduire leurs émissions car chacun de ces oxydes d'azote a un impact non négligeable :

- le NO participe au phénomène des pluies acides et à la formation de l'ozone troposphérique ;
- le  $\text{N}_2\text{O}$  est un gaz à effet de serre trois cent dix fois plus puissant que le  $\text{CO}_2$ .

Afin de réduire les émissions de  $\text{NO}_x$ , des procédés ont été développés, notamment les deux procédés suivants :

- un procédé non catalytique opérant à haute température de l'ordre de  $800^\circ\text{C}$  dans l'enceinte de combustion, ce procédé étant désigné par le sigle

SNCR (réduction non catalytique sélective) ;

- un procédé catalytique opérant au niveau du traitement des fumées à moyenne température (300°C-400°C) ou à basse température (180°C-230°C), ce procédé étant désigné par le sigle SCR (réduction catalytique sélective).

Le procédé SCR permet d'abattre de grandes quantités de NOx, mais au prix d'inconvénients économiques et environnementaux majeurs. Le procédé SNCR, plus économique, ne permet pas d'atteindre un rendement d'élimination des oxydes d'azote aussi élevé que le procédé SCR.

L'invention a pour but, surtout, d'abaisser au mieux la production des oxydes d'azote NOx et du protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O lors d'une combustion afin de se limiter à l'usage d'une réduction sélective non catalytique SNCR pour ne devoir traiter que le résiduel dans les gaz de combustion.

L'invention consiste, en adaptant le couple : (température du lit fluidisé et excès d'air dans le lit fluidisé), à équilibrer les réactions de nitrification et de dénitrification se déroulant dans le lit fluidisé.

Selon l'invention, le procédé défini précédemment est caractérisé en ce que, afin de limiter la production d'oxydes d'azote NOx et N<sub>2</sub>O :

- on mesure, en sortie du four, la teneur des fumées en protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O et en oxydes d'azote NOx ;

- on contrôle la température du lit fluidisé pour la maintenir à la valeur la plus haute admissible pour laquelle la production de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O est sensiblement réduite, tandis que la production d'oxydes d'azote NOx n'est pas sensiblement augmentée ;

- et on contrôle l'excès d'air dans le lit fluidisé pour le maintenir à la valeur la plus basse admissible pour laquelle la production d'oxydes d'azote NOx est réduite sans nuire à la combustion et à la température du lit.

Avantageusement, le procédé met en oeuvre une co-combustion avec un combustible d'appoint sous forme liquide, ou solide, ou gazeuse.

On peut effectuer une introduction, dans le combustible, d'un réactif ou d'un support catalytique améliorant la dénitrification.

De préférence, on contrôle la température du lit fluidisé pour la maintenir entre 700°C et 850°C. La teneur en oxygène O<sub>2</sub> dans le lit fluidisé est avantageusement maintenue entre 0% et 6% en volume.

L'excès d'air du lit peut être contrôlé à partir d'une mesure de la teneur en oxygène O<sub>2</sub> des fumées en sortie de four et de la différence de température entre les fumées en sortie de four et le lit fluidisé.

Avantageusement, on agit sur le débit d'air secondaire pour

maintenir l'excès d'air global à la plus basse valeur qui assure une combustion complète.

De préférence, selon le procédé de l'invention :

- 5 - pour limiter la production de  $N_2O$ , un algorithme est mis en œuvre dans un moyen de calcul d'une unité de régulation, comprenant en particulier un régulateur PID;
- une température de consigne du lit (Tréf) est introduite dans l'algorithme,
- la teneur en protoxyde d'azote  $N_2O$  des fumées est mesurée, et la température de consigne est corrigée selon cette teneur en  $N_2O$  mesurée,
- 10 - la température du lit est mesurée et sa valeur est introduite dans l'unité de régulation,
- l'unité de régulation détermine, à partir de la différence entre température de consigne corrigée du lit et température mesurée du lit, l'action à exercer sur la température de l'air de combustion, et/ou sur la siccité du combustible, et/ou sur
- 15 un ajout éventuel de combustible, en particulier de fioul, pour assurer la température de consigne corrigée.

Avantageusement, la consigne de température du lit corrigée par rapport à l'émission de  $N_2O$  est déterminée en utilisant un test, cette correction étant fondée sur l'évolution de la production de  $N_2O$  sur une base de temps

20 adaptée, en particulier de 30 minutes, ce test consistant à vérifier si la production de  $N_2O$  est en train d'augmenter et si elle reste inférieure à un seuil prédéterminé ; si le test est valide la correction est orientée vers une augmentation de la température du lit, et si le test n'est pas valide la correction est orientée vers une baisse de la température du lit ; et avant l'augmentation

25 de la température du lit un test est effectué sur la consigne en cours qui doit rester inférieure à la température maximale ( $T_{max}$ ) dans le lit, tandis qu'avant la baisse de la température du lit, un test est effectué sur la consigne en cours qui doit rester supérieure à la température minimale ( $T_{min}$ ) dans le lit.

Pour contrôler la production de  $NO_x$ , on peut contrôler l'excès d'air

30 par action sur le débit d'air primaire traversant le lit, avec prise en compte d'une fonction de correction  $f(NO_x)$  d'après la teneur en  $NO_x$  des fumées en sortie de postcombustion, l'action de contrôle de  $NO_x$  étant limitée par la différence de température ( $\Delta T$ ) entre le lit et la postcombustion, afin d'assurer l'étagement de la combustion des hydrocarbures dévolatilisés.

35 Avantageusement, une boucle de régulation contrôle l'excès d'air global de la combustion par action sur le débit d'air secondaire, à partir d'une mesure d'oxygène réalisée en sortie de four, le débit total de combustible permettant de déterminer le débit total d'air de combustion.

On peut déterminer la teneur en oxygène du lit fluidisé par mesure de la teneur en oxygène des fumées en sortie de four, et par mesure de la différence de température entre la sortie de la zone de postcombustion et la sortie du lit, avec calcul de la quantité d'oxygène consommée lors de la postcombustion.

L'invention concerne également une installation pour la mise en œuvre du procédé défini précédemment, comportant un four de combustion à lit fluidisé, notamment à lit de sable, selon lequel un débit d'air primaire de combustion est soufflé à travers le lit, le combustible étant constitué en particulier de déchets organiques, ou de déchets urbains, ou de boues de stations d'épuration, de l'air secondaire pouvant être injecté dans l'espace du four situé au-dessus du lit, cette installation étant caractérisée en ce qu'elle comporte :

- des moyens de mesure, en sortie du four, de la teneur des fumées en protoxyde d'azote  $N_2O$  et en oxydes d'azote  $NO_x$  ;
- une unité de régulation, comprenant en particulier un régulateur PID, avec un moyen de calcul pour mise en œuvre d'un algorithme pour limiter la production de  $N_2O$ ;
- une entrée pour une température de consigne du lit dans l'algorithme, l'unité de régulation étant propre à corriger la température de consigne selon la teneur en protoxyde d'azote  $N_2O$  des fumées,
- un moyen de mesure de la température du lit, la valeur mesurée étant introduite dans l'unité de régulation,
- ladite unité de régulation déterminant, à partir de la différence entre température de consigne corrigée du lit et température mesurée du lit, l'action à exercer sur la température de l'air de combustion, et/ou sur la siccité du combustible, et/ou sur un ajout éventuel de combustible, en particulier de fioul, pour assurer la température de consigne corrigée.

Avantageusement, l'installation comporte :

- des moyens de contrôle de la température du lit fluidisé pour la maintenir à la valeur la plus haute admissible pour laquelle la production de protoxyde d'azote  $N_2O$  est sensiblement réduite, tandis que la production d'oxydes d'azote  $NO_x$  n'est pas sensiblement augmentée ;
- et des moyens de contrôle de l'excès d'air dans le lit fluidisé pour le maintenir à la valeur la plus basse admissible pour laquelle la production d'oxydes d'azote  $NO_x$  est réduite sans nuire à la combustion et à la température du lit.

L'installation peut comporter, pour contrôler la production de NOx, un moyen de contrôle de l'excès d'air par action sur le débit d'air primaire traversant le lit, avec prise en compte d'une fonction de correction  $f(\text{NOx})$  d'après la teneur en NOx des fumées en sortie de postcombustion, l'action de contrôle de NOx étant limitée par la différence de température ( $\Delta T$ ) entre le lit et la postcombustion, afin d'assurer l'étagement de la combustion des hydrocarbures dévolatilisés.

De préférence, l'installation comporte des moyens de contrôle de l'excès d'air global, comprenant une sonde de mesure de la teneur en oxygène  $\text{O}_2$  des fumées en sortie de four, des sondes de température pour fournir la différence de température entre les fumées en sortie de postcombustion et le lit fluidisé, et un moyen de calcul de l'oxygène consommé par la postcombustion correspondant à la différence de température entre la sortie du lit et la sortie de la postcombustion.

L'installation comporte avantageusement une boucle de régulation qui contrôle l'excès d'air global de la combustion par action sur le débit d'air secondaire, à partir d'une mesure d'oxygène réalisée en sortie de four, le débit total de combustible permettant de déterminer le débit total d'air de combustion.

L'invention consiste, mises à part les dispositions exposées ci-dessus, en un certain nombre d'autres dispositions dont il sera plus explicitement question ci-après à propos d'un exemple de réalisation décrit avec référence aux dessins annexés, mais qui n'est nullement limitatif. Sur ces dessins :

Fig. 1 est une coupe verticale schématique d'un four de combustion à lit fluidisé auquel est appliqué le procédé de l'invention.

Fig. 2 est un diagramme illustrant les variations, au cours du temps porté en abscisse, de la teneur des fumées en oxydes d'azote NOx portée en ordonnée à gauche en  $\text{mg/Nm}^3$ , selon une courbe en trait plein, ainsi que les variations de la teneur des fumées en oxygène résiduel portée en ordonnée à droite et exprimée en % en volume, selon une courbe en tirets.

Fig. 3 est un diagramme illustrant les variations au cours du temps de la température moyenne du lit de sable, portée en  $^{\circ}\text{C}$  sur l'axe des ordonnées à droite, selon une courbe en tirets, ainsi que les variations de la teneur en protoxyde d'azote  $\text{N}_2\text{O}$  dans les fumées, portée en ordonnée à gauche en  $\text{mg/Nm}^3$ , selon une courbe en trait plein.

Fig. 4 est un graphique illustrant les variations de la vitesse de formation des NOx et de  $\text{N}_2\text{O}$  en fonction de la température portée en abscisse,

Fig. 5 est un schéma synoptique d'un algorithme pour assurer une régulation de la teneur en  $N_2O$ , et

Fig. 6 est un schéma synoptique de la régulation de l'excès d'air dans les fumées en sortie de four.

5 En se reportant à Fig. 1 des dessins, on peut voir un four de combustion 1 à lit fluidisé B. Le lit fluidisé B présente une granulométrie homogène et est de préférence constitué de sable et de grains de silice. Eventuellement, le lit fluidisé peut être réalisé avec des grains de fer, ou autres grains de matière métallique ou inerte, notamment de coke (carbone fixe)  
10 constitué par du carbone ayant une structure cristallisée et agissant comme catalyseur.

L'air de combustion et de fluidisation 2 est introduit en partie inférieure du four dans une boîte à vent A surmontée d'une arche a1 supportant le lit B. L'arche a1 est traversée par des tuyères a2 assurant la répartition de  
15 l'air primaire soufflé dans le lit B. Un four de ce type est connu sous le nom Thermylis® de la Société DEGREMONT.

Le lit B constitue une zone de dévolatilisation 3 qui contient les déchets en phase solide et dans laquelle les matières volatiles se dévolatilisent et brûlent en partie. On rappelle que la dévolatilisation d'un combustible  
20 désigne le processus par lequel, au cours d'un traitement thermique, le combustible perd ses matières volatiles (eau, matières hydrocarbonées, oxyde de carbone, hydrogène).

Le combustible est introduit en partie basse du lit B par au moins une buselure latérale 4. Une zone de postcombustion 5 est constituée dans  
25 l'enceinte du four au-dessus du lit B. Un dispositif 5a d'injection d'air secondaire dans la zone 5 est prévu.

L'injection du combustible s'effectue dans la zone de dévolatilisation 3. Le combustible peut être constitué par des boues de station d'épuration, des déchets ménagers ou urbains, du fioul, ou du gaz, ou un  
30 mélange de deux au moins de ces combustibles, ou tout déchet organique que l'on introduit dans un four pour le brûler.

Avantageusement, on peut introduire dans le combustible un réactif ou un support catalytique améliorant la dénitrification.

Le lit fluidisé B est un milieu fortement brassé dans lequel se  
35 déroulent des réactions en phase homogène et en phase hétérogène. Dans ce milieu se produit l'essentiel des phases d'une combustion :

- la phase de séchage du combustible solide,
- la phase de dévolatilisation de la matière volatile du combustible solide,

- la phase d'oxydo-réduction partielle des espèces issues de la dévolatilisation,
- l'oxydation du carbone fixe.

Le lit B est le lieu propice à de nombreuses réactions en phase hétérogène rendues possibles par la présence de matières minérales, constituées par les cendres, et de carbone fixe (coke).

Il est à noter que le lit fluidisé est équivalent à un milieu liquide et présente, en fonctionnement normal, une température homogène.

Au-dessus du lit, la zone de postcombustion permet, grâce à un excès d'air et à un temps de séjour adaptés, une oxydation totale des espèces hydrocarbonées produites dans le lit en phase homogène (dévolatilisation).

Les oxydes d'azote NO<sub>x</sub> et le protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O sont produits dans le lit B pendant la phase de dévolatilisation.

Le procédé de l'invention assure une température du lit et un excès d'air dans ce lit fluidisé adéquats pour favoriser les réactions de dénitrification au détriment des réactions de production d'oxydes d'azote NO<sub>x</sub> et de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O dont la quantité produite se trouve réduite.

Le procédé de l'invention peut être utilisé en synergie avec le procédé de la demande de brevet français n° 12 53597 déposée le 19 avril 2012 au nom de la même Société déposante DEGREMONT, pour un « Procédé de dénitrification des fumées produites par un four de combustion, et installation pour la mise en œuvre de ce procédé ».

Lors de la combustion d'un déchet, et d'une boue en particulier, la production d'oxydes d'azote NO<sub>x</sub> et de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O provient de l'oxydation de l'azote contenu dans le combustible. Cet azote est contenu dans une structure hydrocarbonée, ou à l'état d'ammoniac, et peut être converti en deux espèces, soit sous forme gazeuse ammoniac NH<sub>3</sub>, soit sous forme de cyanure d'hydrogène HCN. Lors de la dévolatilisation du combustible, en particulier des boues, l'azote des structures hydrocarbonées forme majoritairement du cyanure d'hydrogène HCN et, en milieu oxydant, est à l'origine de la production des oxydes d'azote NO<sub>x</sub> et du protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O.

Selon le procédé de l'invention, les conditions régnantes dans le lit fluidisé sont choisies pour limiter la production de cyanure d'hydrogène HCN et pour favoriser les réactions de dénitrification qui, pour la plupart, se déroulent en phase hétérogène.

Pour cela, l'excès d'air dans le lit fluidisé est maintenu à la valeur la plus basse admissible afin d'éviter la production d'oxydes d'azote NO<sub>x</sub> ; la limite inférieure est imposée par la différence de température  $\Delta T$  lit/postcombustion qui caractérise le déplacement de la combustion depuis le lit

vers la postcombustion par la réduction de l'excès d'air dans le lit.

La température du lit fluidisé est maintenue à la valeur la plus haute admissible qui est limitée par l'apparition d'une augmentation sensible de la teneur des fumées en oxydes d'azote NOx. Cette température du lit maintenue au plus haut permet de :

- limiter la production de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O ;
- limiter les réactions d'oxydation en phase homogène et de production de monoxyde d'azote NO ;
- assurer le niveau d'énergie nécessaire au déroulement des réactions de dénitrification en phase hétérogène.

Au-dessus d'un seuil, en particulier de 800 °C, la température du lit fluidisé contribue à limiter la production de cyanure d'hydrogène HCN et donc de monoxyde d'azote NO, tout en assurant le niveau d'énergie suffisant au déroulement des réactions de dénitrification, avec destruction des oxydes d'azote NOx et du protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O, et destruction du cyanure d'hydrogène HCN et de l'ammoniac NH<sub>3</sub> en phase hétérogène.

Le procédé de l'invention est ainsi basé sur le contrôle du couple : (température du lit fluidisé / concentration en oxygène dans le lit fluidisé) pour donner une priorité voulue à la formation des réactions de dénitrification.

Avantageusement, la température du lit fluidisé est maintenue entre 720°C et 850°C tandis que la concentration en oxygène dans le lit fluidisé est maintenue entre 0 % et 6 % en volume.

Le maintien des paramètres (température du lit et teneur en oxygène du lit) dans les plages de valeurs indiquées est assuré par une unité de régulation H (Fig.5) avec moyen de calcul K dans lequel est installé un algorithme, et une boucle de régulation G (Fig.6).

L'unité de régulation H et la boucle G reçoivent des valeurs de consigne et des résultats de mesure pour les paramètres considérés, et fournissent sur différentes sorties des signaux de commande pour assurer la régulation. Ceci permet de limiter la production de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O et d'oxydes d'azote NOx, et de favoriser un traitement de dénitrification directement dans le lit fluidisé B sans avoir recours à un procédé de dénitrification spécifique.

Le diagramme de Fig. 2 illustre la possibilité de contrôle de la production d'oxydes d'azote NOx dont la teneur dans les fumées est portée à gauche en ordonnées, en mg/Nm<sup>3</sup> (milligrammes par mètre cube normal), par l'oxygène résiduel en sortie de four, dans les fumées. La teneur en oxygène résiduel dans les fumées exprimée en % en volume est portée à droite en

ordonnée. En abscisse, le temps est porté en heures et minutes.

La courbe 6 en tirets représente la variation de la teneur en oxygène des fumées en sortie de four, au cours du temps. La courbe 6 illustre une diminution de l'oxygène résiduel en sortie de four, obtenue en réduisant le débit d'air primaire, tandis que le débit d'air secondaire est nul.

La courbe 7 en trait plein illustre la variation de la teneur en oxydes d'azote NOx des fumées en sortie de four. Il apparaît que cette teneur diminue avec la diminution de la teneur en oxygène résiduel. Dès que la teneur en oxygène est d'environ 4 %, la teneur en NOx a chuté à environ 30 mg/Nm<sup>3</sup>.

Le diagramme de Fig. 2 illustrant les variations de NOx induites par les variations de la teneur en oxygène résiduel est à considérer toutes choses égales par ailleurs.

Le diagramme de Fig. 3 illustre par une courbe 8 en tirets des variations de la température du lit fluidisé B au cours du temps porté en abscisse ; les valeurs de température sont portées à droite en ordonnée. Le pic de la courbe de température atteint environ 800°C.

Les variations de la teneur en protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O dans les fumées en sortie de four sont représentées par la courbe en trait plein 9. La teneur en N<sub>2</sub>O est portée à gauche en ordonnée, exprimée en mg/Nm<sup>3</sup>.

Le diagramme de Fig. 3 fait apparaître que pour des températures de lit supérieures à environ 740°C, la teneur en protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O des fumées est sensiblement réduite.

L'invention exploite les évolutions observées sur les diagrammes des Fig. 2 et 3 pour piloter à la fois la production d'oxydes d'azote NOx et de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O dans la phase hétérogène constituée par le lit fluidisé B.

L'invention permet ainsi par un algorithme précis de piloter à la fois la production de NOx et de N<sub>2</sub>O dans la phase hétérogène. Sachant que l'évolution constatée pour N<sub>2</sub>O et NOx est représentée par Fig.4, l'ajustement de la température du lit sera piloté par la mesure de N<sub>2</sub>O et la consigne d'O<sub>2</sub> sera ajustée en fonction de la teneur en NOx constatée pour la température en cours.

Sur Fig.4, sur l'axe de gauche des ordonnées est portée la vitesse de formation des NOx en fonction de O<sub>2</sub> et de la température T. Cette vitesse est exprimée en secondes<sup>-1</sup> (s<sup>-1</sup> × 10<sup>-8</sup>). Plus cette vitesse est importante par rapport aux autres réactions de destruction plus il y aura de NOx.

Le réseau de courbes croissantes de gauche à droite correspond à l'évolution de la vitesse de formation des NOx en fonction de la température portée en abscisse. Chaque courbe correspond à une teneur en O<sub>2</sub> constante,

cette constante étant de 3% pour la courbe inférieure et augmentant de 1% pour chaque courbe située au-dessus, jusqu'à 8% pour la courbe supérieure ; ces valeurs sont indiquées sur la Fig.4 à droite. Le graphique de Fig. 4 montre que, si on veut faire monter la température dans le lit, il faut conjointement réduire la teneur en  $O_2$  pour limiter la production de  $NO_x$  d'où la régulation des  $NO_x$  avec la quantité d'air introduit dans le lit.

Sur l'axe de droite des ordonnées, c'est le taux de destruction du  $N_2O$  produit par la combustion (rapport de la quantité de  $N_2O$  produite par la combustion dans le lit, sur la quantité de  $N_2O$  résultant de la destruction thermique dans le lit). Ce taux de destruction est représenté par la courbe décroissante de l'angle supérieur gauche à l'angle inférieur droit. Cette courbe est indépendante de la teneur en  $O_2$  et montre que le taux de destruction est fonction de la température du lit.

L'algorithme se décompose comme exposé ci-après

### **I. Le contrôle de la température du lit B.**

L'algorithme est illustré sur Fig.5. Ce contrôle est possible en mettant en place une régulation dont le principe est le suivant.

La température du lit B mesurée par des sondes telles que 10 (Fig.1) judicieusement implantées est contrôlée par action :

- sur la siccité/taux de MV du combustible, cette action étant représentée par le bloc 11,
- et sur la température de l'air de combustion traversant le lit fluidisé, cette action étant représentée par le bloc 13.

Sans qu'elle participe à la régulation, une sonde 10a avantageusement placée juste au-dessus du lit et avant l'injection d'air secondaire permet de vérifier la cohérence des mesures 10, 10b.

La consigne de température SP du lit est corrigée par rapport à l'émission de  $N_2O$  en utilisant un test, selon bloc 14. Cette correction est basée sur l'évolution de la production de  $N_2O$  sur une base de temps adaptée, notamment de 30 minutes, pour éviter la prise en compte de pics.

Le test 14 est réalisé sur cette évolution. Ce test consiste à vérifier si la production de  $N_2O$  est en train d'augmenter et si elle reste inférieure à un seuil prédéterminé.

Si le test 14 est valide (réponse OUI) la correction, assurée par le bloc 15, est orientée vers une augmentation de la température du lit avec auparavant un test 15a sur la consigne SP en cours qui doit rester toujours

inférieure à la température maximale  $T_{max}$  dans le lit (de l'ordre de  $850^{\circ}\text{C}$ ). Cette augmentation de température est réalisée en 15 par l'activation d'une rampe de  $X_1^{\circ}\text{C}/\text{minute}$  pendant une base de temps de  $Y_1$  minutes en rapport avec l'inertie thermique du lit dépendante de la quantité de sable et du PCI du combustible.

Si le test 14 n'est pas valide (réponse NON) la correction est orientée vers une baisse de la température du lit, selon bloc 16, avec auparavant un test 16a sur la consigne SP en cours qui doit toujours restée supérieure à la température minimale  $T_{min}$  dans le lit (de l'ordre de  $700^{\circ}\text{C}$ ). Cette baisse de température est réalisée en 16 par l'activation d'une rampe de  $X_2^{\circ}\text{C}/\text{minute}$  pendant une base de temps de  $Y_2$  minutes en rapport avec l'inertie thermique du lit dépendante de la quantité de sable et du PCI du combustible.

La rampe d'augmentation  $X_1^{\circ}\text{C}/\text{minute}$  incrémente en degrés un compteur/décompteur D alors que la rampe de baisse  $X_2^{\circ}\text{C}/\text{minute}$  décrémente en degrés le compteur/décompteur D.

La consigne de température SP du lit intégrant la correction par rapport à la production de  $\text{N}_2\text{O}$  est selon le bloc R, la somme de la température Tréf (température de base en fonctionnement de l'ordre de  $800^{\circ}\text{C}$ ) et de la valeur fournie par le compteur/décompteur D.

La consigne de température SP est comparée à la mesure dans le lit dans un régulateur PID (proportionnel intégral dérivé) 19 dont la sortie S (0-100%) est traitée dans une formule M  $((S-50)/50)$  dont le résultat varie de -1 à +1. Une pondération X permet une répartition de l'action. L'amplitude des corrections est bornée par les valeurs « max de variation possible », respectivement selon bloc 21 pour la variation de température, et bloc 22 pour la variation de siccité.

Une sonde 12 (Fig.1) de mesure de la teneur en protoxyde d'azote  $\text{N}_2\text{O}$  des fumées en sortie de four fournit la valeur mesurée de la teneur en  $\text{N}_2\text{O}$ .

L'algorithme programmé permet de corriger la valeur de consigne en fonction de la mesure de la teneur en  $\text{N}_2\text{O}$  fournie par la sonde 12.

Pour une correction de la température de l'air de combustion, le bloc 13 peut commander, notamment, un échangeur de chaleur (non représenté) réchauffeur de l'air de combustion, à partir des fumées sortant du four, en modifiant le débit de fumées chaudes traversant le réchauffeur.

Le bloc 11 permet de corriger la siccité du combustible, notamment des boues, par exemple par action sur un dispositif de séchage du combustible avant introduction dans le four.

Selon une autre possibilité, pour augmenter la température du lit, on peut commander un ajout de fioul au combustible. Il se produit alors une co-combustion.

Dans le cas où la température mesurée du lit est trop élevée par rapport à la valeur de consigne, la correction est effectuée au niveau de la correction de la température de l'air de combustion par le bloc 13 et de la correction de la siccité des boues par le bloc 11, et le cas échéant par réduction du débit de combustible.

## II. Le contrôle de l'excès d'air en sortie de zone hétérogène

Selon Fig.6, l'excès d'air est contrôlé par action sur le débit d'air primaire traversant le lit, selon le bloc 23. Comme montré par le graphique de Fig.4, abaisser la quantité d'air primaire, et donc d'O<sub>2</sub>, conduit à contrôler la production de NOx. Un bloc 24 représente la prise en compte d'une fonction de correction  $f(\text{NOx})$  d'après la teneur en NOx des fumées fournie par une sonde 20 (Fig.1) en sortie de postcombustion. La quantité d'air primaire est maintenue au niveau le plus bas possible. Cette action de contrôle de NOx est toutefois limitée par la différence de température  $\Delta T$  entre le lit et la postcombustion, selon le bloc 25 qui introduit une fonction de correction  $f(\Delta T)$ , afin d'assurer l'étagement de la combustion des hydrocarbures dévolatilisés. Le débit d'air primaire doit rester compris entre une valeur maximale Max, et une valeur minimale Min.

La variation de température entre le lit B et la sortie de la zone de postcombustion 5 est représentée sur Fig.1 par une ligne 17 en tirets, tracée dans un système de coordonnées dans lequel est portée en abscisse la hauteur d'un point de la zone 5 au-dessus du lit B, et en ordonnée la température au niveau de ce point. A titre d'exemple, la température peut être voisine de 800°C en sortie du lit B et de 850°C en sortie de la zone de postcombustion 5.

Il convient que la différence de température entre la sortie de la postcombustion 5 et le lit B ait une valeur suffisante, notamment d'au moins 50°C, afin d'assurer l'étagement de la combustion des hydrocarbures dévolatilisés.

Des valeurs  $A_0$  et  $B_0$  ( $B_0 < 1$ ) sont des réglages initiaux permettant seulement un ajustement au travers des fonctions de correction.

Une boucle G détermine une valeur corrigée  $B'_0$  tenant compte des fonctions de correction 25  $f(\Delta T)$  et 24  $f(\text{NOx})$ . Cette valeur  $B'_0$  sert au calcul du débit d'air primaire à partir du débit total d'air de combustion.

La valeur  $(1 - B'_0)$  sert au calcul du débit d'air secondaire à partir du débit total d'air de combustion, en tenant compte de la fonction de correction  $f(O_2)$ .

Comme le montre la figure 6, la réduction des NOx peut abaisser le coefficient proportionnel d'air primaire ( $B_0 \rightarrow B'_0$ ) avec, pour conséquence, des gaz en sortie du lit B appauvris en oxygène. Le ratio stœchiométrique d'air global ( $A_0$ ) garantissant une combustion complète en postcombustion pour une quantité de MV donnée est assuré par une augmentation du coefficient proportionnel d'air secondaire  $(1 - B'_0)$ . L'abaissement de la quantité d'air primaire pour réduire la production d'oxydes d'azote NOx se trouve ainsi limitée par la nécessité d'une teneur en oxygène en sortie du lit fluidisé B.

Les coefficients  $A_0$  et  $B_0$  sont des réglages a priori.  $A_0$  définit la quantité d'air pour une tonne de matière sèche MS (par exemple  $10000 \text{ Nm}^3/\text{t}$ ). Donc pour une consigne de boue de 1 t/h de MS il faudra au global  $A_0 \text{ Nm}^3/\text{h}$  (par exemple  $10000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ) d'air de combustion qu'il va falloir répartir entre l'air primaire (air I) et l'air secondaire (air II).

C'est le rôle de  $B_0$  qui donne le ratio a priori air I/air II. Donc s'il n'y a pas de correction par rapport à NOx et  $\Delta T$  alors  $B'_0 = B_0$ . A contrario lorsqu'au moins une correction est active, le ratio est modifié et  $B'_0$  est différent de  $B_0$ .

Jusque là, le réglage a priori  $A_0$  n'a pas été modifié.  $A_0$  doit être modifié si la quantité de matière volatile ou le PCI (pouvoir calorifique inférieur) de celle-ci évolue, et la mesure de la teneur en oxygène  $O_2$  global en est une indication. Si le résultat de la mesure le justifie, à ce moment, une action est menée sur l'air secondaire au moyen de la fonction de correction  $f(O_2)$  afin d'en tenir compte sans apporter de modification à l'air I car optimisé pour le contrôle des NOx.

Sur les Fig. 5 et Fig. 6, les fonctions de correction interviennent en tant que multiplicateurs, comme illustré par le signe X. Par exemple pour Fig 6 : le produit du débit de boues 28 par  $A_0$  donne le débit total air de combustion 29.

30

### III. Le contrôle de l'excès d'air global.

La mesure de l'excès d'air global est assurée à l'aide d'une sonde (Fig.1) de la teneur en oxygène des fumées sortant du four.

Afin d'assurer une combustion parfaite de la quantité de MV (matière volatile) introduite, la boucle de régulation G (Fig.6) avec moyen de calcul contrôle l'excès d'air global de la combustion par action sur le débit d'air secondaire, selon bloc 26, à partir de la mesure d'oxygène réalisée en sortie de four, selon fonction de correction du bloc 27.

35

Le débit total des boues fourni par un bloc 28 permet de déterminer le débit total d'air de combustion, selon le bloc 29.

L'algorithme pourra être positivement amélioré par la mise en place d'une mesure de la teneur en oxygène directement dans la zone hétérogène constituée par le lit fluidisé B.

Toutefois, il n'existe pas actuellement de moyen satisfaisant pour effectuer une telle mesure directement dans le lit, notamment un lit de sable. Cette difficulté est surmontée par mesure à l'aide de la sonde 18 (Fig.1) de la teneur en oxygène des fumées sortant du four, et par calcul de l'oxygène consommé par la postcombustion correspondant à la différence entre la température de sortie du lit, mesurée par une sonde 10a, et la température de sortie de la postcombustion, mesurée par une sonde 10b.

Pour l'excès d'air global, il est souhaitable pour une bonne combustion qu'un faible excès d'oxygène soit présent en sortie dans les fumées. L'invention permet de maîtriser la quantité d'air dans le lit fluidisé et de réduire les oxydes d'azote NOx.

Le procédé de l'invention en limitant la production d'oxydes d'azote dans un four à lit fluidisé permet de limiter l'usage d'une réduction SNCR.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé pour conduire la combustion dans un four à lit fluidisé, selon lequel un débit d'air primaire de combustion est soufflé à travers le lit, le combustible étant constitué de déchets organiques, ou de déchets urbains, ou de boues de stations d'épuration, de l'air secondaire étant injecté dans l'espace du four situé au-dessus du lit, caractérisé en ce que, afin de limiter la production d'oxydes d'azote NOx et de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O:

- on mesure, en sortie du four, la teneur des fumées en protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O et en oxydes d'azote NOx;
  - on contrôle la température du lit fluidisé pour la maintenir à la valeur la plus haute admissible pour laquelle la production de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O est sensiblement réduite, tandis que la production d'oxydes d'azote NOx n'est pas sensiblement augmentée, cette température étant comprise entre 700°C et 850°C;
  - et on contrôle l'excès d'air dans le lit fluidisé pour maintenir la teneur en oxygène à la valeur la plus basse admissible pour laquelle la production d'oxydes d'azote NOx est réduite sans nuire à la combustion et à la température du lit, cette teneur étant comprise entre 0% et 6% en volume,
- l'excès d'air du lit fluidisé étant contrôlé à partir d'une mesure de la teneur en oxygène O<sub>2</sub> des fumées en sortie de four et de la différence de température entre les fumées en sortie de four et le lit fluidisé.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il met en œuvre une co-combustion avec un combustible d'appoint sous forme liquide, ou solide, ou gazeuse.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'on effectue une introduction, dans le combustible, d'un réactif ou d'un support catalytique améliorant la dénitrification.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'on agit sur le débit d'air secondaire pour maintenir l'excès d'air global à la plus basse valeur qui assure une combustion complète.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que:

- pour limiter la production de N<sub>2</sub>O, un algorithme est mis en œuvre dans un moyen de calcul d'une unité de régulation, comprenant un régulateur PID;
- une température de consigne du lit est introduite dans l'algorithme,

- la teneur en protoxyde d'azote  $N_2O$  des fumées est mesurée, et la température de consigne est corrigée selon cette teneur en  $N_2O$  mesurée,
- la température du lit est mesurée et sa valeur est introduite dans l'unité de régulation,
- l'unité de régulation détermine, à partir de la différence entre température de consigne corrigée du lit et température mesurée du lit, l'action à exercer sur la température de l'air de combustion, et/ou sur la siccité du combustible, et/ou sur un ajout éventuel de combustible, pour assurer la température de consigne corrigée.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'ajout éventuel de combustible comprend l'ajout de fioul.

7. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que la consigne de température du lit corrigée par rapport à l'émission de  $N_2O$  est déterminée en utilisant un test, cette correction étant fondée sur l'évolution de la production de  $N_2O$  sur une base de temps adaptée, ce test consistant à vérifier si la production de  $N_2O$  est en train d'augmenter et si elle reste inférieure à un seuil prédéterminé; si le test est valide la correction est orientée vers une augmentation de la température du lit, et si le test n'est pas valide la correction est orientée vers une baisse de la température du lit;  
et en ce que avant l'augmentation de la température du lit un test est effectué sur la consigne en cours qui doit rester inférieure à la température maximale dans le lit, tandis qu'avant la baisse de la température du lit, un test est effectué sur la consigne en cours qui doit rester supérieure à la température minimale dans le lit.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la base de temps adaptée est de 30 minutes.

9. Procédé selon la revendication 5 ou 7, caractérisé en ce que, pour contrôler la production de  $NO_x$ , l'excès d'air dans le lit est contrôlé par action sur le débit d'air primaire traversant le lit, avec prise en compte d'une fonction de correction  $f(NO_x)$  d'après la teneur en  $NO_x$  des fumées en sortie de postcombustion, l'action de contrôle de  $NO_x$  étant limitée par la différence de température entre le lit et la postcombustion, afin d'assurer l'étagement de la combustion des hydrocarbures dévolatilisés.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'une boucle de régulation contrôle l'excès d'air global de la combustion par action sur le débit d'air secondaire, à partir d'une mesure d'oxygène réalisée en sortie de four, le débit total de combustible permettant de déterminer le débit total d'air de combustion.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que l'on détermine la teneur en oxygène du lit fluidisé par mesure de la teneur en oxygène des fumées en sortie de four, et par mesure de la différence de température entre la sortie de la zone de postcombustion et la sortie du lit, avec calcul de la quantité d'oxygène consommée lors de la postcombustion.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisée en ce que le lit fluidisé est un lit de sable.

13. Installation pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, comportant un four de combustion à lit fluidisé, selon lequel un débit d'air primaire de combustion est soufflé à travers le lit, le combustible étant constitué de déchets organiques, ou de déchets urbains, ou de boues de stations d'épuration, de l'air secondaire étant injecté dans l'espace du four situé au-dessus du lit, caractérisée en ce qu'elle comporte:

- des moyens de mesure, en sortie du four, de la teneur des fumées en protoxyde d'azote  $N_2O$  et en oxydes d'azote  $NO_x$ ;
  - une unité de régulation, comprenant un régulateur PID, avec un moyen de calcul pour mise en œuvre d'un algorithme pour limiter la production de  $N_2O$ ;
  - une entrée pour une température de consigne du lit dans l'algorithme, l'unité de régulation étant propre à corriger la température de consigne selon la teneur en protoxyde d'azote  $N_2O$  des fumées;
  - un moyen de mesure de la température du lit, la valeur mesurée étant introduite dans l'unité de régulation;
  - des moyens de contrôle de l'excès d'air global, comprenant une sonde de mesure de la teneur en oxygène  $O_2$  des fumées en sortie de four, des sondes de température pour fournir la différence de température entre les fumées en sortie de postcombustion et le lit fluidisé, et un bloc pour le calcul de l'oxygène consommé par la postcombustion correspondant à la différence de température entre la sortie du lit et la sortie de la postcombustion,
- ladite unité de régulation déterminant, à partir de la différence entre température de consigne corrigée du lit et température mesurée du lit, l'action à exercer sur la température de l'air de combustion, et/ou sur la siccité du combustible, et/ou sur un ajout éventuel de combustible, pour assurer la température de consigne corrigée.

14. Installation selon la revendication 13, caractérisé en ce que l'ajout éventuel de combustible comprend l'ajout de fioul.

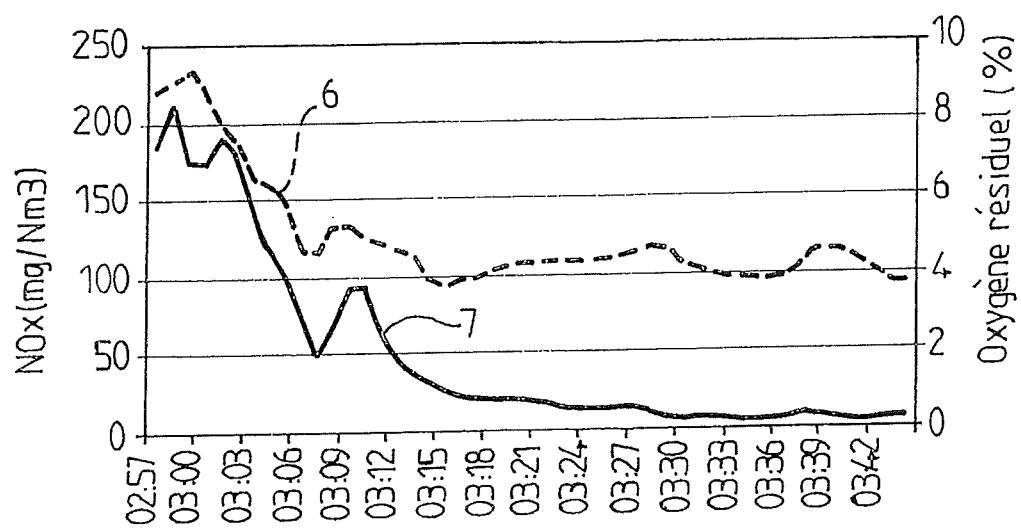
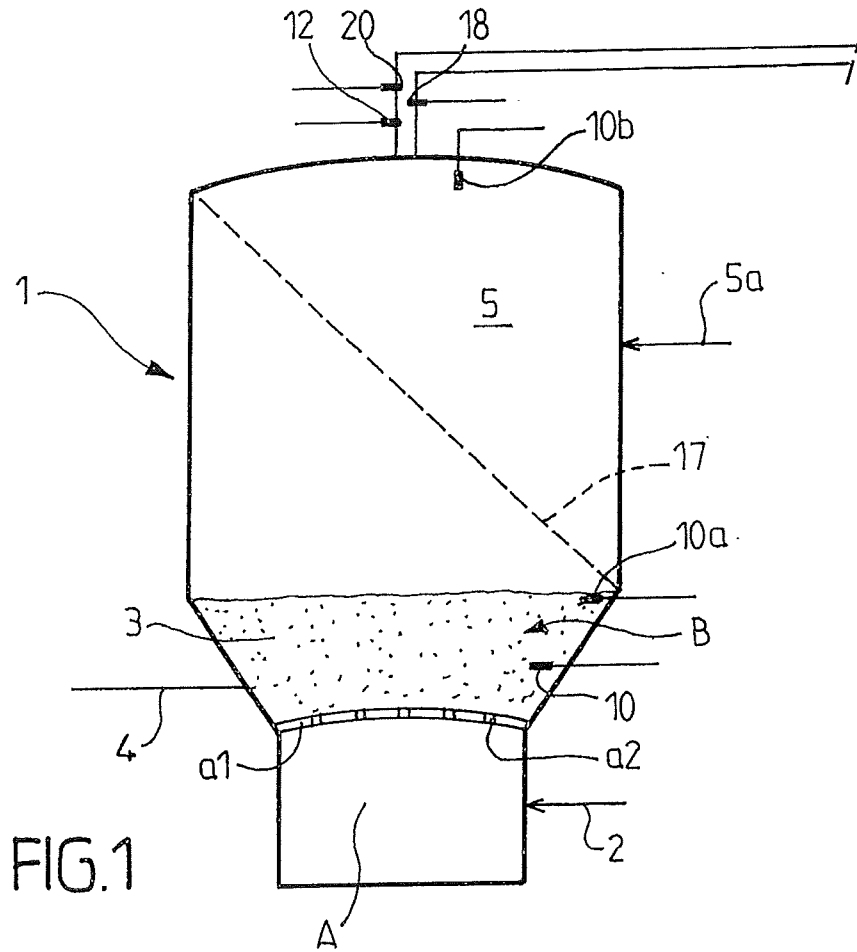
15. Installation selon la revendication 13, caractérisée en ce qu'elle comporte :

- des moyens de contrôle de la température du lit fluidisé pour la maintenir à la valeur plus haute admissible pour laquelle la production de protoxyde d'azote  $N_2O$  est sensiblement réduite, tandis que la production d'oxydes d'azote  $NO_x$  n'est pas sensiblement augmentée;
- et des moyens de contrôle de l'excès d'air dans le lit fluidisé pour le maintenir à la valeur la plus basse admissible pour laquelle la production d'oxydes d'azote  $NO_x$  est réduite sans nuire à la combustion et à la température du lit.

16. Installation selon la revendication 13 ou 15, caractérisée en ce qu'elle comporte, pour contrôler la production de  $NO_x$ , un moyen de contrôle de l'excès d'air par action sur le débit d'air primaire traversant le lit, avec prise en compte d'une fonction de correction  $f(NO_x)$  d'après la teneur en  $NO_x$  des fumées en sortie de postcombustion, l'action de contrôle de  $NO_x$  étant limitée par la différence de température entre le lit et la postcombustion, afin d'assurer l'étagement de la combustion des hydrocarbures dévolatilisés.

17. Installation selon la revendication 13, caractérisée en ce qu'elle comporte une boucle de régulation qui contrôle l'excès d'air global de la combustion par action sur le débit d'air secondaire, à partir d'une mesure d'oxygène réalisée en sortie de four, le débit total de combustible boues permettant de déterminer le débit total d'air de combustion.

18. Installation selon l'une quelconque des revendications 13 à 17, caractérisé en ce que le lit fluidisé est un lit de sable.



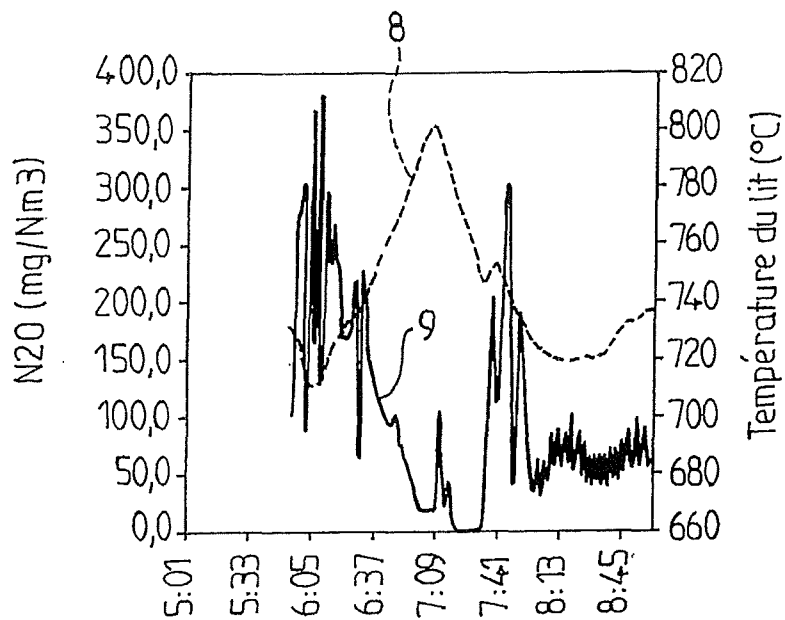


FIG. 3

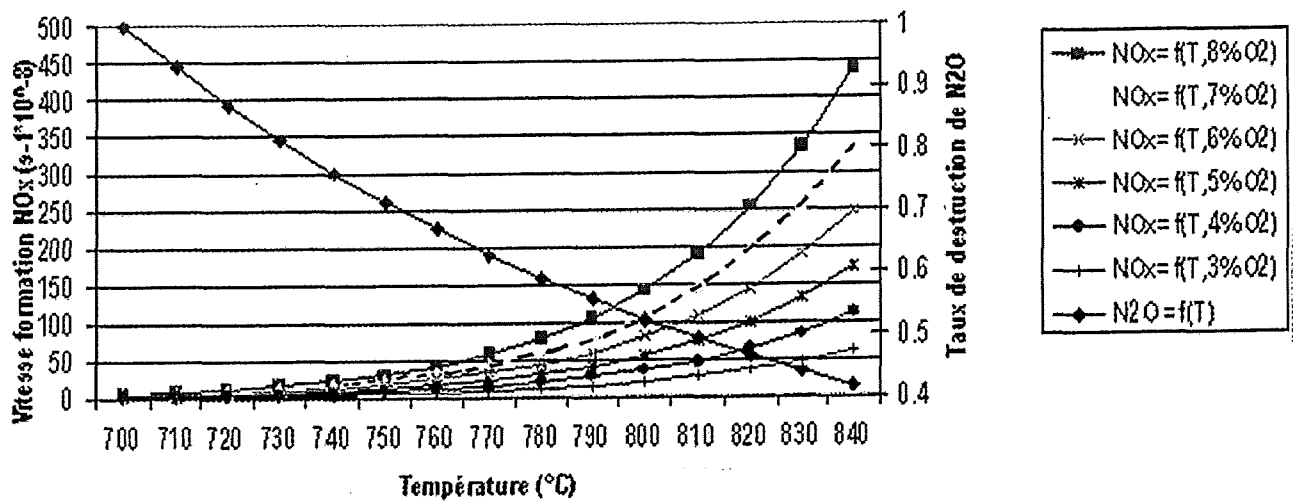


FIG. 4

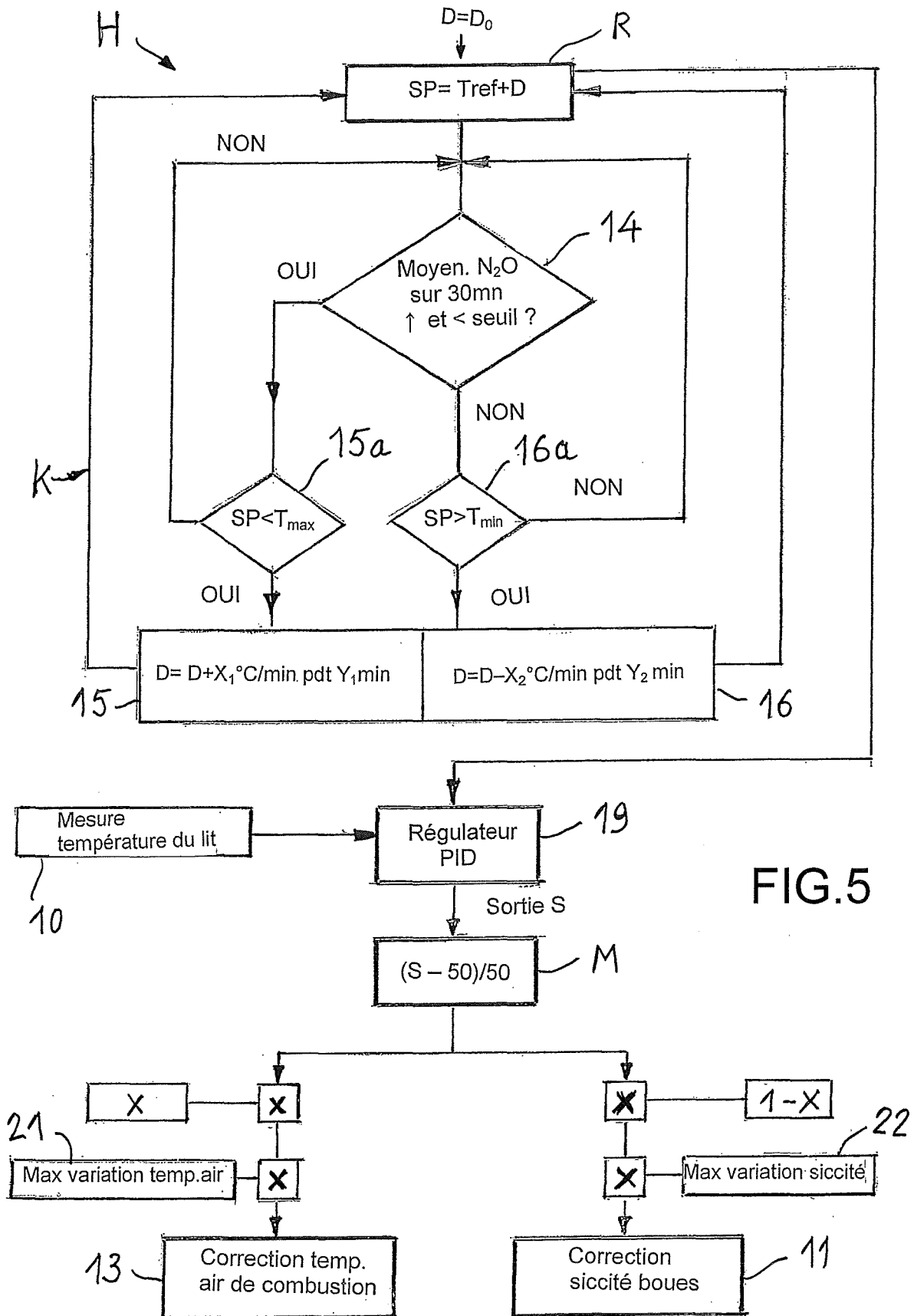


FIG.6

