



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2009/01/21
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2009/08/06
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2016/03/15
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2010/07/20
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2009/050078
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2009/095581
(30) Priorité/Priority: 2008/01/28 (FR0850501)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F23J 15/00* (2006.01),
B01D 53/00 (2006.01), *B01D 53/62* (2006.01),
F23J 15/02 (2006.01)

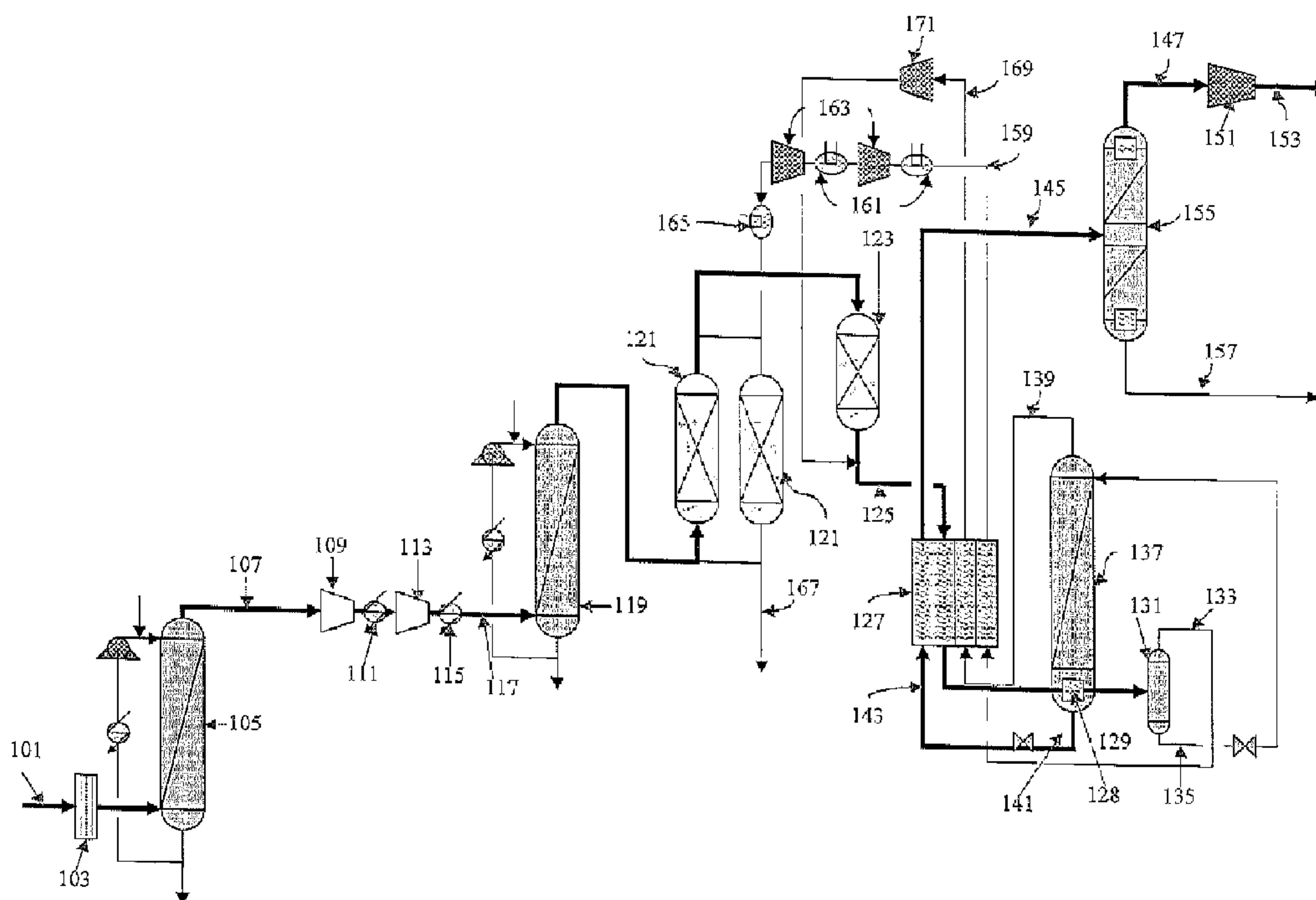
(72) Inventeurs/Inventors:
COURT, PHILIPPE, FR;
DARDE, ARTHUR, FR;
TRANIER, JEAN-PIERRE, FR

(73) Propriétaire/Owner:
L'AIR LIQUIDE SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE
ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES
CLAUDE, FR

(74) Agent: NORTON ROSE FULBRIGHT CANADA
LLP/S.E.N.C.R.L., S.R.L.

(54) Titre : PROCEDE DE COMBUSTION DE COMBUSTIBLES CARBONES AVEC FILTRATION DES FUMÉES DE
COMBUSTION AVANT COMPRESSION

(54) Title: METHOD FOR BURNING CARBONATED FUELS WITH COMBUSTION SMOKE FILTRATION BEFORE
COMPRESSION



(57) Abrégé/Abstract:

Procédé de combustion de combustibles carbonés mettant en oeuvre une unité de combustion produisant des fumées de combustion comprenant en outre du dioxyde de carbone (CO_2), des particules solides et au moins une des impuretés choisies parmi H_2O , N_2 , O_2 , Ar, NO_x et SO_x , caractérisé en ce qu'on met en oeuvre les étapes suivantes : a) la filtration des fumées de combustion de façon à atteindre une concentration en particules solides inférieures à 1mg/m^3 , b) la compression des fumées de combustion filtrées à l'étape a), c) la purification des fumées de combustion comprimées à l'étape b) de façon à éliminer au moins partiellement une des impuretés, et d) la récupération d'un flux gazeux enrichi en CO_2 .

(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
6 août 2009 (06.08.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2009/095581 A3(51) Classification internationale des brevets :
F23J 15/00 (2006.01) F23J 15/02 (2006.01)
B01D 53/62 (2006.01) B01D 53/00 (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2009/050078(22) Date de dépôt international :
21 janvier 2009 (21.01.2009)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0850501 28 janvier 2008 (28.01.2008) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : L'AIR
LIQUIDE SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE
ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES
CLAUDE [FR/FR]; 75, quai d'Orsay, F-75007 Paris
(FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : COURT,
Philippe [FR/FR]; 33, rue d'Avron, F-75020 Paris (FR).
DARDE, Arthur [FR/FR]; 32, boulevard Saint-Marcel,
F-75005 Paris (FR). TRANIER, Jean-Pierre [FR/FR];
15, sentier des Jardins, F-94240 L'Hay-les-Roses (FR).(74) Mandataire : CONAN, Philippe; L'Air Liquide SA,
Département Propriété Intellectuelle, 75, quai d'Orsay,
F-75321 Paris Cedex 07 (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, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, 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, KM, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), européen (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, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des
revendications, sera republiée si des modifications sont
reques (règle 48.2.h))

(88) Date de publication du rapport de recherche
internationale :

1 octobre 2009

(54) Title : METHOD FOR BURNING CARBONATED FUELS WITH COMBUSTION SMOKE FILTRATION BEFORE
COMPRESSION(54) Titre : PROCEDE DE COMBUSTION DE COMBUSTIBLES CARBONES AVEC FILTRATION DES FUMÉES DE
COMBUSTION AVANT COMPRESSION(57) Abstract : The invention relates to a method for burning carbonated fuels, that uses a combustion unit generating combustion
fumes also containing carbon dioxide (CO₂), solid particles and at least one impurity selected from H₂O, N₂, O₂, Ar, NO_x and
SO_x, characterised in that it comprises the following steps: a) filtration of the combustion fumes in order to reach a solid-particle
concentration lower than 1mg/m³; b) compression of the combustion fumes filtered in step a); c) purification of the combustion
fumes compressed in step b) in order at least partially remove one of the impurities; and d) recovery of a CO₂-enriched gas flow.(57) Abrégé : Procédé de combustion de combustibles carbonés mettant en œuvre une unité de combustion produisant des fumées
de combustion comprenant en outre du dioxyde de carbone (CO₂), des particules solides et au moins une des impuretés choisies
parmi H₂O, N₂, O₂, Ar, NO_x et SO_x, caractérisé en ce qu'on met en œuvre les étapes suivantes : a) la filtration des fumées de
combustion de façon à atteindre une concentration en particules solides inférieures à 1mg/m³, b) la compression des fumées de
combustion filtrées à l'étape a), c) la purification des fumées de combustion comprimées à l'étape b) de façon à éliminer au moins
partiellement une des impuretés, et d) la récupération d'un flux gazeux enrichi en CO₂.

WO 2009/095581 A3

"Procédé de combustion de combustibles carbonés avec filtration des fumées de combustion avant compression"

5 La présente invention concerne un procédé de combustion de combustible carboné caractérisé en ce que les fumées de combustion sont filtrées de façon à atteindre une concentration en particules solides inférieures à 1mg/m^3 avant compression, purification et séquestration ou transport.

 Les changements climatiques constituent l'un des plus grands défis environnementaux.
10 L'accroissement de la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère est en très grande partie la cause du réchauffement global. Le CO_2 d'origine humaine est essentiellement émis dans l'atmosphère par la combustion des combustibles fossiles dans les centrales thermiques.

 Les centrales thermiques permettent par combustion de combustibles de dégager de la
15 chaleur utilisable pour produire de la vapeur d'eau et éventuellement de l'énergie mécanique ou électrique. Les fumées de combustion dégagent des quantités importantes de CO_2 dans l'atmosphère.

 Pour lutter contre les émissions de CO_2 , une technologie vise à capturer le CO_2 émis
lors de la combustion de combustibles carbonés pour le transporter et/ou le séquestrer sous
20 terre. Cependant, pour qu'une telle capture du CO_2 soit possible, une partie des fumées de combustion devra être comprimé jusqu'à une pression typiquement de l'ordre de 4 à 60 bar abs avant d'être purifiées puis à nouveau comprimée jusqu'à une pression typiquement de 100 à 200 bar abs pour être séquestrée.

 La technologie de compression pour des gaz en si grand volume et sur des taux de
25 compression tels, requièrent aujourd'hui l'utilisation de compresseurs centrifuges où des roues mobiles éjectent le gaz de manière centrifuge. Afin de réduire la consommation énergétique, ces compresseurs sont multi-étagés, un réfrigérant permettant de ramener le gaz à la température ambiante à chaque étage.

 Tant les roues de compression que les échangeurs inter-étage sont sujets à
30 l'encrassement par les particules solides issues de la combustion. Les particules peuvent boucher les échangeurs et réduire leurs capacités thermiques. En ce qui concerne les roues, celles-ci peuvent être déséquilibrées par l'accumulation non homogène de masse sur les roues.

Ceci conduit à un déséquilibre de l'arbre mécanique, des vibrations et potentiellement la destruction de la machine.

Une autre technologie de compression des gaz en si grand volume est la technologie dite axiale dans laquelle des ailettes rotoriques tournant à grande vitesse alternées avec des ailettes statoriques fixes compriment le gaz dans l'axe du rotor de la machine. Pour une telle

5 ailettes statoriques fixes compriment le gaz dans l'axe du rotor de la machine. Pour une telle technologie, la présence de particules solides engendre une perte de matière sur les ailettes notamment par érosion.

On est donc confronté à un problème de dépoussiérage. Par « dépoussiérage » on entend toute action ou procédé dans lequel une fumée ou un gaz est débarrassé par une

10 séparation gaz/solide d'une fraction substantielle des solides qu'il véhicule. Les appareils ou équipements effectuant cette tâche sont nommés dépoussiéreurs ou séparateurs de poussières.

Comme mentionné dans le document B. SIRET, « Dépoussiérage et dévésiculage », Techniques de l'Ingénieur, J 3 580, pages 1 à 26, les technologies traditionnellement mises en place pour résoudre le problème de dépoussiérage lorsqu'on brûle un combustible carboné

15 sont de différents types ; et on distingue :

- les filtres électro-statiques où les particules chargées sont écartées du flux de fumées,
- les filtres à manche où l'on fait passer les fumées à travers un textile filtrant,
- les Cyclones où les particules sont séparées par centrifugation et accélération, et
- les laveurs où les fumées sont mises en contact avec une douche liquide.

Ces technologies permettent d'abaisser la teneur en poussières des valeurs classiques du gramme ou dizaines de grammes par mètre cube à la sortie de la chaudière à des niveaux mille fois inférieurs en ligne avec les normes de rejet habituelles dans l'atmosphère, mais toujours supérieure au milligramme par mètre cube.

20

Néanmoins, avec une teneur en poussière dans les fumées supérieure ou égale à

25 1 mg/m^3 , la compression va subir un encrassement, notamment dans les réfrigérants intermédiaires qui va nécessiter des arrêts pour maintenance fréquents. Par ailleurs, cela entraîne une dégradation de la performance de la compression.

Partant de là, un problème qui se pose est de proposer un procédé de combustion de combustibles carbonés avec un traitement amélioré des fumées de combustion, notamment un

30 traitement adapté à la technologie des compresseurs centrifuges.

2a

Brève description des dessins

Figure 1 illustre un procédé général mettant en œuvre une chaudière à charbon pulvérisé et fonctionnant avec un comburant plus pauvre en azote que l'air, où la totalité des fumées de combustion subit une étape de désulfuration.

Figure 2 illustre un procédé mettant en œuvre une chaudière à charbon pulvérisé et fonctionnant avec un comburant plus pauvre en azote que l'air, où la totalité des fumées de combustion subit une première étape de désulfuration avant l'étape a) de filtration puis une deuxième étape de désulfuration avant d'être divisée en deux parties, une première partie des fumées de combustion étant recyclée vers la chaudière, et une deuxième partie des fumées de combustion subissant les étapes b), c) et d).

Figure 3 illustre une description plus détaillée des étapes a), b), c) et d) du procédé selon l'invention.

Description détaillée

Une solution de l'invention est un procédé de combustion de combustibles carbonés mettant en œuvre une unité de combustion produisant des fumées de combustion comprenant en outre du dioxyde de carbone (CO_2), des particules solides et au moins une des impuretés choisies parmi l'eau, l'azote, l'oxygène, l'argon, les oxydes d'azote (NO_x) dont le monoxyde d'azote et le dioxyde d'azote et les oxydes de soufre (SO_x) dont le dioxyde de soufre, caractérisé en ce qu'on met en œuvre les étapes suivantes :

- a) la filtration des fumées de combustion de façon à atteindre une concentration en particules solides inférieure à 1 mg/m^3 ,
- b) la compression des fumées de combustion filtrées à l'étape a),
- 10 c) la purification des fumées de combustion comprimées à l'étape b) de façon à éliminer au moins partiellement une des impuretés, et
- d) la récupération d'un flux gazeux enrichi en CO_2 .

De préférence, les fumées de combustion sont comprimées à l'étape b) à une pression supérieure à 4 bars.

15 De préférence, la compression mise en œuvre à l'étape b) est réalisée au moyen de compresseurs centrifuges.

On atteint de préférence à l'étape a), une concentration en particules solides inférieure à $500\text{ }\mu\text{g/m}^3$, encore préférentiellement inférieure à $300\text{ }\mu\text{g/m}^3$.

Selon le cas, le procédé selon l'invention peut présenter l'une des caractéristiques suivantes :

- à l'étape a) les fumées de combustion sont filtrées de façon à atteindre une concentration en particules solides inférieures à $100\text{ }\mu\text{g/m}^3$,
- à l'étape a) la filtration est réalisée à l'aide d'un filtre à cartouches,
- soit les fumées de combustion n'ont pas été saturées en eau avant l'étape a), soit on met en œuvre avant l'étape a) de filtration une étape de désaturation des fumées de combustion,
- l'étape a) est réalisée après une première compression des fumées de combustion,
- on met en œuvre au moins un échangeur de chaleur en aval de l'étape de filtration a) et en amont de l'étape c),
- l'unité de combustion est une unité employant comme comburant de l'air dans laquelle la capture du CO_2 est réalisée par absorption du CO_2 dans les fumées ; on parle de capture dite de « post-combustion »,

- l'unité de combustion est une unité d'oxy-combustion employant comme comburant un gaz appauvri en azote par rapport à l'air,
- la filtration de l'étape a) est complétée entre l'étape a) et l'étape c) par une filtration statique,
- les fumées de combustion en sortie de la filtration statique présentent une concentration en particules solides inférieure à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- on met en œuvre en aval de l'étape de filtration a) pour des fumées de combustion de températures supérieures à 100°C au moins un échangeur choisi parmi les échangeurs à plaques, les échangeurs à tubes ailetés et les échangeurs en aluminium brasé,
- on met en œuvre en aval de l'étape de filtration a) pour des fumées de combustion de températures inférieures à 100°C des échangeurs en matière plastique,
- on met en œuvre en aval de l'étape de filtration a) des échangeurs compacts,
- on met en œuvre en aval de l'étape de filtration a) des tours de lavage et/ou des colonnes à distiller équipées de garnissage pour éliminer au moins partiellement au moins une des impuretés choisie parmi SO_2 , NO_2 , N_2 , O_2 , Ar et N_2O_4 ,
- on met en œuvre une étape de désulfuration et/ou une étape de refroidissement, pour éliminer l'eau par condensation, en amont de l'étape a) de filtration et/ou en aval de l'étape a) de filtration,
- les fumées de l'oxycombustion sont divisées en au moins deux parties, une première partie étant recyclée vers l'unité de combustion, et une deuxième partie subissant les étapes b), c) et d), et seule la deuxième partie subit une étape de désulfuration et/ou une étape de refroidissement pour éliminer l'eau par condensation,
- la totalité des fumées de combustion subit au moins une étape de désulfuration, puis une première partie des fumées de combustion désulfurée est recyclée vers la chaudière tandis qu'une deuxième partie des fumées de combustion désulfurée subit les étapes a), b), c) et d).
- le combustible carboné est du charbon et la première partie des fumées de combustion subit avant d'être renvoyée vers la chaudière une deuxième étape de désulfuration,
- la totalité des fumées de combustion subit une première étape de désulfuration avant l'étape a) de filtration, puis une deuxième étape de désulfuration après l'étape a) de filtration, avant d'être divisée en deux parties, une première partie des fumées de combustion étant recyclée vers la chaudière, et une deuxième partie des fumées de combustion subissant les étapes b), c) et d).

Notons que dans le cadre d'une oxycombustion, la partie des fumées recyclée peut représenter jusqu'à 80% des fumées de combustion.

Par « postcombustion », on entend un procédé de combustion classique à l'air suivi d'une séparation du CO₂ des fumées de combustion, par exemple par absorption par des amines ou par de l'ammoniac.

Les étapes de désulfuration peuvent être par exemple réalisées par lavage au moyen d'une solution qui contient du calcaire ou de la soude.

L'étape a) de filtration, appelée « filtration fine », peut être réalisée à l'aide d'un filtre à cartouches. Elle est effectuée à une température comprise entre 0°C et 300°C, préférentiellement entre 100°C et 200°C. Par filtre à cartouches, on entend des cartouches filtrantes constituées de média fibreux plissé mis en œuvre sous forme cylindrique. Cette technologie de filtre permet de proposer de grandes surfaces de filtration pour un faible volume d'encombrement et des pertes de charge générées plus faibles pour un même débit de gaz à traiter. En effet, l'opération de plissage permet d'augmenter la surface de filtre mis en œuvre dans une canalisation de section donnée, et permet ainsi de diminuer la vitesse frontale du gaz au niveau du filtre, réduisant de ce fait les pertes de charge.

Le filtre à cartouches est décolmaté après filtration à l'aide d'un fluide riche en CO₂ ou encore à l'air. Ce fluide riche en CO₂ peut être issu de l'étape b) et/ou d).

Par « échangeur compact » on entend un échangeur dont la compacité est supérieure à 700m²/m³; la compacité étant définie par le rapport de l'aire de la surface d'échange au volume de l'échangeur.

Les échangeurs à tube ailetés sont constitués de tubes permettant d'améliorer le coefficient d'échange thermique. Il existe différents types d'échangeurs à tubes ailetés. Dans le cadre de la présente invention, on peut, par exemple, mettre en œuvre une batterie à ailettes constituée d'un faisceau de tubes, répartis en rangs ou nappes, dans lesquels circule un fluide caloporteur ayant un bon coefficient d'échange.

Par « échangeur à plaque », on entend un échangeur à surface primaire ou à surface secondaire. Les échangeurs à surface primaire sont constitués de plaques corruguées, nervurées ou picotées. Le dessin du profil de plaques peut être assez varié mais il a toujours un double rôle d'intensification du transfert de chaleur et de tenue à la pression par multiplications des points de contact. Parmi les échangeurs à surface primaire, on note les

échangeurs avec plaques soudées ou brasées qui permettent d'utiliser ces surfaces d'échanges primaires à des températures supérieures à 150°C. Dans le cadre de la présente invention, ces échangeurs peuvent être utilisés, sans souci d'encrassement, en raison de la mise en œuvre préalable de l'étape a) de filtration. Les échangeurs à surface secondaire utilisent des ailettes
5 plissées ou ondulées.

Le document A. BONTEMPS et al., « Echangeurs de chaleur », Techniques de l'Ingénieur, B 2 3241 pages 3-4 et 7 à 13 décrit les différents types d'échangeurs à tubes ailetés et d'échangeurs à plaques.

Une autre technologie, pouvant être mise en œuvre à l'étape a) de filtration, est basée
10 sur la filtration par des média en plastique comme, par exemple, le PPS (Polysulfure de phényle), polyester, PTFE (polytétrafluoroéthylène). Ces plastiques permettent à la fois d'atteindre les niveaux de filtration submicronique et de résister selon les cas aux températures comprises entre 50°C et 200°C.

Par « filtre statique », on entend un filtre grossier et/ou fin, de préférence fin ou une
15 combinaison grossier puis fin. Par filtre fin, on entend un filtre qui est de classe F5 à F9 au sens de la norme européenne EN 779:2002 ; il s'agit par exemple d'un filtre statique à poches ou à cassettes, typiquement de dimensions 24 pouces par 24 pouces (610 mm par 610 mm environ). Par filtre grossier on entend un filtre de classe G1 à G4.

Le filtre statique, selon l'invention, peut être suivi d'un filtre HEPA ou ULPA. Le
20 filtre HEPA est un filtre de classe H10 à H14 et le filtre ULPA est un filtre de classe U15 à U17 au sens des normes européennes EN 1822-1 : 1998, 1822-2 :1998 et 1822-3 : 1998.

Le procédé selon l'invention met en œuvre une unité de combustion alimentée par un combustible carboné. De préférence, ce combustible est du charbon mais cela peut être n'importe quel combustible à base d'atomes de carbone : résidus pétroliers, hydrocarbures,
25 gaz naturel, biomasse, ordures ménagères...

La combustion est de préférence une oxycombustion, c'est-à-dire une combustion dont le comburant est un gaz appauvri en azote par rapport à de l'air et enrichi en CO₂. Cet appauvrissement en azote est obtenu en séparant de l'air en une fraction enrichie en oxygène et une fraction enrichie en azote par exemple dans une unité de séparation des gaz de l'air par
30 voie cryogénique. La fraction enrichie en oxygène est mélangée avec une partie des fumées de combustion riche en CO₂ recyclée pour former le comburant. Elle présente en général une

concentration en oxygène supérieure à l'air. On notera que l'oxycombustion peut également être réalisée à l'oxygène pur, c'est-à-dire non dilué avec une partie des fumées de combustion riche en CO₂. Sa teneur est alors typiquement comprise entre 85% et 99.9%.

A présent, l'invention va être décrite plus en détail à l'aide des figures 1 et 2.

5 La figure 1 illustre un procédé général, selon l'invention, mettant en œuvre une chaudière à charbon pulvérisé et fonctionnant avec un comburant plus pauvre en azote que l'air, caractérisé en ce que la totalité des fumées de combustion subit une étape de désulfuration.

10 De l'air 1 est introduit dans l'unité 2 de séparation des gaz de l'air qui produit alors de l'oxygène 3. L'oxygène 3 est envoyé dans un mélangeur 4 où il peut être mélangé via un canal de recirculation de CO₂ à un gaz de recycle 6 riche en CO₂. Le comburant 5 issu du mélangeur 4 est ensuite introduit dans la chaudière 7 à charbon pulvérisé fonctionnant alors à un comburant plus pauvre en azote que l'air.

15 Le combustible 8, ici le charbon brut, est tout d'abord envoyé dans un pulvérisateur 10 avant d'être introduit dans la chaudière 7 à charbon pulvérisé.

La vapeur issue de la chaudière est détendue dans une turbine à vapeur 11, qui fournit un travail mécanique. Ce travail est transformé en énergie à l'aide d'un alternateur 12.

20 Les fumées de combustion 13 peuvent faire l'objet de traitement divers : élimination du mercure (non représenté) et des oxydes d'azote 19, dépoussiérage 14 et désulfuration et/ou refroidissement 15.

Une première partie 6 de ces fumées d'oxycombustion peut-être recyclée vers la chaudière de manière à diminuer la teneur en oxygène au niveau de la combustion et donc la température de combustion.

25 Les fumées de combustion non recyclées (deuxième partie des fumées de combustion) sont quant à elles filtrées au moyen d'un filtre à cartouches 20 avant d'être envoyées dans l'unité 16 de compression et de purification (CPU) du CO₂. Préalablement à l'étape 16 de compression, les fumées peuvent subir un lavage 9 visant à éliminer SO_x et/ou NO_x et/ou à les refroidir par contact direct pour en éliminer une partie de l'eau par condensation.

30 Le CO₂ purifié 17 issu de l'unité 16 CPU peut ensuite être conditionné et/ou transporté et/ou stocké.

Par dépoussiérage 14, on entend un dépoussiérage par les techniques traditionnelles ; par exemple un dépoussiérage au moyen de filtres électrostatiques ou de filtres à manche.

La figure 2 illustre un procédé, selon l'invention, mettant en œuvre une chaudière à charbon pulvérisé et fonctionnant avec un comburant plus pauvre en azote que l'air, caractérisé en ce que la totalité des fumées de combustion subit une première étape de désulfuration avant l'étape a) de filtration puis une deuxième étape de désulfuration avant d'être divisée en deux parties, une première partie des fumées de combustion étant recyclée vers la chaudière, et une deuxième partie des fumées de combustion subissant les étapes b), c) et d).

Ce procédé se distingue du précédant en ce que :

- la totalité des fumées de combustion est filtrée au moyen d'un filtre à cartouches 20 avant d'être envoyée dans le laveur 9 visant à éliminer SO_x et/ou NO_x et/ou refroidie par contact direct pour en éliminer une partie de l'eau par condensation,
- une première partie 6 des fumées de combustion peut être recyclée après le laveur 9 vers la chaudière, et
- les fumées de combustion non recyclées (deuxième partie des fumées de combustion) sont quant à elles envoyées dans l'unité 16 de compression et de purification (CPU) du CO₂.

A noter que des solutions intermédiaires entre celle décrite pour la Figure 1 et celle décrite pour la Figure 2 sont envisageables. Par exemple la fraction du comburant allant aux pulvérisateurs peut nécessiter une élimination de l'eau de manière à vaporiser l'eau contenue dans le charbon alors que l'autre partie du comburant 5 ne le nécessite pas. Elle sera alors recyclée comme sur la Figure 1.

La figure 3 offre une description plus détaillée des étapes a), b), c) et d) du procédé selon l'invention.

Pour simplifier la description, on appellera « filtration fine » la filtration des fumées de combustion de façon à atteindre une concentration en particules solides inférieures à 1mg/m³.

Les fumées de l'oxycombustion 101 subissent une filtration fine 103 et un lavage/refroidissement dans une tour à contact direct 105. Dans cette tour, on pourra éliminer SO_x et/ou NO_x. La tour de lavage basse pression peut être à garnissages grâce à la filtration fine. En effet, une filtration classique conduirait à un encrassement des garnissages. Il faudrait alors nettoyer la tour plus souvent ou avoir recours à des plateaux, moins sujets à

l'encrassement mais générant plus de pertes de charge. Les fumées refroidies 107 entrent dans un premier étage de compression 109 avant d'être refroidies dans un échangeur 111 puis dans un deuxième étage de compression 113 avant d'être à nouveau refroidies dans un échangeur 115. Ces échangeurs 111 et 115 peuvent être ailetés ou à plaque ou compact grâce à la filtration fine. La pression du fluide 117 est typiquement comprise entre 4 et 60 bar abs, de préférence entre 15 et 35 bar abs. Le nombre d'étage de compression est adapté en fonction de la pression. Chaque étage de compression peut être constitué d'une ou plusieurs roue(s) centrifuge(s). Le fluide 117 entre ensuite dans une tour de lavage/refroidissement 119 haute pression puis est séché dans un adsorbeur 121 et subit une étape de démercurisation par adsorption dans un adsorbeur 123. La tour de lavage haute pression peut être à garnissages grâce à la filtration fine. Le fluide 125 obtenu subit ensuite une condensation partielle dans les échangeurs 127 et 128. Ces échangeurs peuvent être en aluminium brasé grâce à la filtration fine. Dans certains cas, cette filtration fine suffisante pour éviter l'encrassement des compresseurs peut être insuffisante pour l'utilisation de tels échangeurs. Par ailleurs, les étapes de séchage et de démercurisation par adsorption peuvent introduire des particules solides dans le fluide. Une filtration complémentaire par exemple par cartouche en métal fritté peut être réalisée sur le fluide 125. Le fluide partiellement condensé est séparé en une fraction liquide enrichie en CO₂ et une fraction vapeur typiquement enrichie en N₂, Ar, O₂. La fraction liquide est détendue et enrichie en CO₂ dans une colonne à distiller 137. Un fluide gazeux 139 est prélevé de la colonne, réchauffé dans l'échangeur 127 puis éventuellement comprimé dans un compresseur 171 et recyclé en amont de l'échangeur 127 de manière à améliorer le rendement CO₂. Un fluide liquide 141 est éventuellement détendu et vaporisé dans l'échangeur 127 puis introduit dans une colonne à distiller 155 pour le purifier en composés lourds comme SO₂ et NO₂/N₂O₄ qui n'auraient pas été éliminés par les étapes de purification précédentes. Les colonnes à distiller peuvent être à garnissages grâce à l'utilisation de la filtration fine. Une fraction liquide 157 enrichie en composés lourds est extraite de cette colonne et une fraction enrichie en CO₂ est produite et comprimée dans un compresseur 151 prête à la séquestration à une pression typiquement comprise entre 100 et 200 bar abs. La fraction gazeuse 133 est réchauffée dans l'échangeur 127 et détendue en une ou plusieurs étapes dans des turbines 163 ayant été préalablement préchauffée dans des échangeurs 161 de manière à récupérer l'énergie

sous forme de pression. Ce fluide entre ensuite dans le réchauffeur 165 et sert à régénérer l'adsorbeur 121.

A titre d'exemple, le procédé de combustion selon l'invention peut mettre en œuvre une unité d'oxycombustion produisant des fumées d'oxycombustion comprenant environ 55%
5 de CO₂, 20% d'H₂O, 20% de N₂, 5 % d'O₂ et d'argon et des traces d'autres impuretés, et être caractérisé par la récupération à l'étape d) d'un flux gazeux comprenant au moins 90 % de CO₂, de préférence au moins 95% de CO₂.

Le procédé selon l'invention présente notamment les avantages suivants :

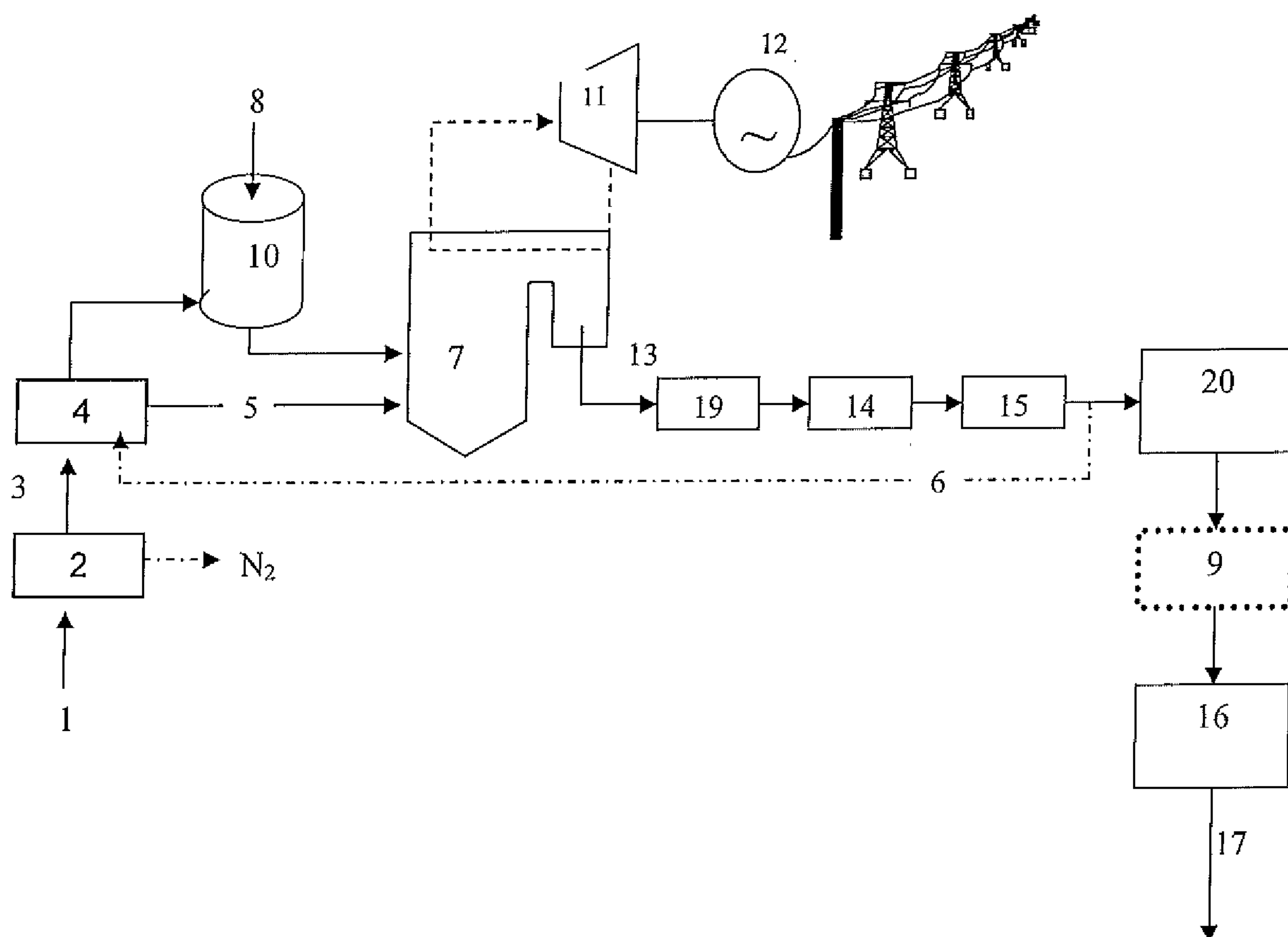
- 10 - utilisation d'échangeurs de chaleur plus performants que les tubes lisses, qui sont les seuls échangeurs utilisables avec une teneur en poussière supérieure à 1 mg/m³,
- meilleure compression,
- diminution du nombre d'arrêt pour maintenance dans un temps donné,
- l'utilisation de tours de lavage et/ou de colonnes à distiller équipées de garnissages au lieu de plateaux, générant ainsi moins de pertes de charge et par la même améliorant
15 l'efficacité énergétique du système, et
- l'amélioration la pureté du produit final en particules solides, ce qui réduit l'encrassement des équipements en aval, et notamment le pipeline.

Revendications

1. Procédé de combustion de combustibles carbonés mettant en œuvre une unité de combustion produisant des fumées de combustion comprenant en outre du dioxyde de carbone (CO₂), des particules solides et au moins une des impuretés choisies parmi l'eau, l'azote, l'oxygène, l'argon, les oxydes d'azote (NO_x) et les oxydes de soufre (SO_x), ledit procédé comprenant :
 - a) la filtration des fumées de combustion de façon à atteindre une concentration en particules solides inférieure à 100 µg/m³, ladite filtration étant réalisée à l'aide d'un filtre à cartouches et ledit filtre étant décolmaté après filtration à l'aide d'un fluide riche en CO₂;
 - b) la compression des fumées de combustion filtrées à l'étape a);
 - c) la purification des fumées de combustion comprimées à l'étape b) de façon à éliminer au moins partiellement une des impuretés; et
 - d) la récupération d'un flux gazeux enrichi en CO₂.
2. Le procédé selon la revendication 1, où les oxydes d'azote comprennent le monoxyde d'azote et le dioxyde d'azote.
3. Le procédé selon la revendication 1 ou 2, où les oxydes de soufre comprennent le dioxyde de soufre.
4. Procédé selon l'une des quelconques revendications 1 à 3, où soit les fumées de combustion n'ont pas été saturées en eau avant l'étape a), soit on met en œuvre avant l'étape a) de filtration une étape de désaturation des fumées de combustion.
5. Procédé selon l'une des quelconques revendications 1 à 4, où l'étape a) est réalisée après une première compression des fumées de combustion.
6. Procédé selon l'une des quelconques revendications 1 à 5, où l'on met en œuvre au moins un échangeur de chaleur en aval de l'étape de filtration a) et en amont de l'étape c).
7. Procédé selon l'une des quelconques revendications 1 à 6, où la filtration de l'étape a) est complétée entre l'étape a) et l'étape c) par une filtration statique.

8. Procédé selon la revendication 7, où les fumées de combustion en sortie de la filtration statique présentent une concentration en particules solides inférieure à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
9. Procédé selon l'une des quelconques revendications 1 à 8, où l'on met en œuvre en aval de l'étape de filtration a), pour des fumées de combustion de températures supérieures à 100°C , au moins un échangeur choisi parmi les échangeurs à plaques, les échangeurs à tubes ailetés et les échangeurs en aluminium brasé.
10. Procédé selon l'une des quelconques revendications 1 à 8, où l'on met en œuvre en aval de l'étape de filtration a), pour des fumées de combustion de températures inférieures à 100°C , des échangeurs en matière plastique.
11. Procédé selon l'une des quelconques revendications 1 à 10, où l'on met en œuvre en aval de l'étape de filtration a) des échangeurs compacts.
12. Procédé selon l'une des quelconques revendications 1 à 11, où l'on met en œuvre en aval de l'étape de filtration a) des tours de lavage et/ou des colonnes à distiller équipées de garnissage pour éliminer au moins partiellement au moins une des impuretés choisie parmi SO_2 , NO_2 , N_2 , O_2 , Ar et N_2O_4 .
13. Procédé selon l'une des quelconques revendications 1 à 12, où l'on met en œuvre une étape de désulfuration et/ou une étape de refroidissement, pour éliminer l'eau par condensation, en amont de l'étape a) de filtration et/ou en aval de l'étape a) de filtration.

1/3

Figure 1

2/3

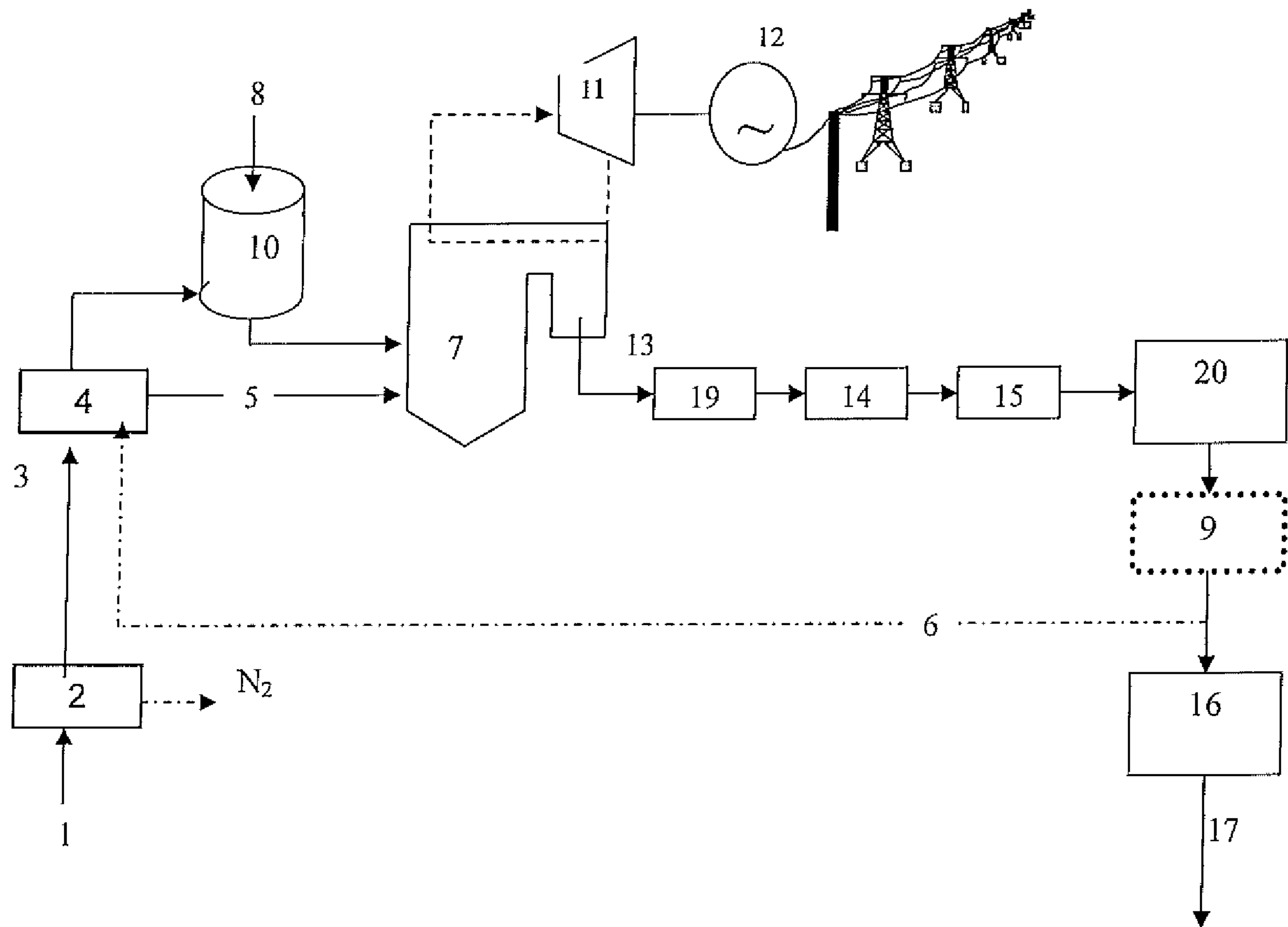


Figure 2

3/3

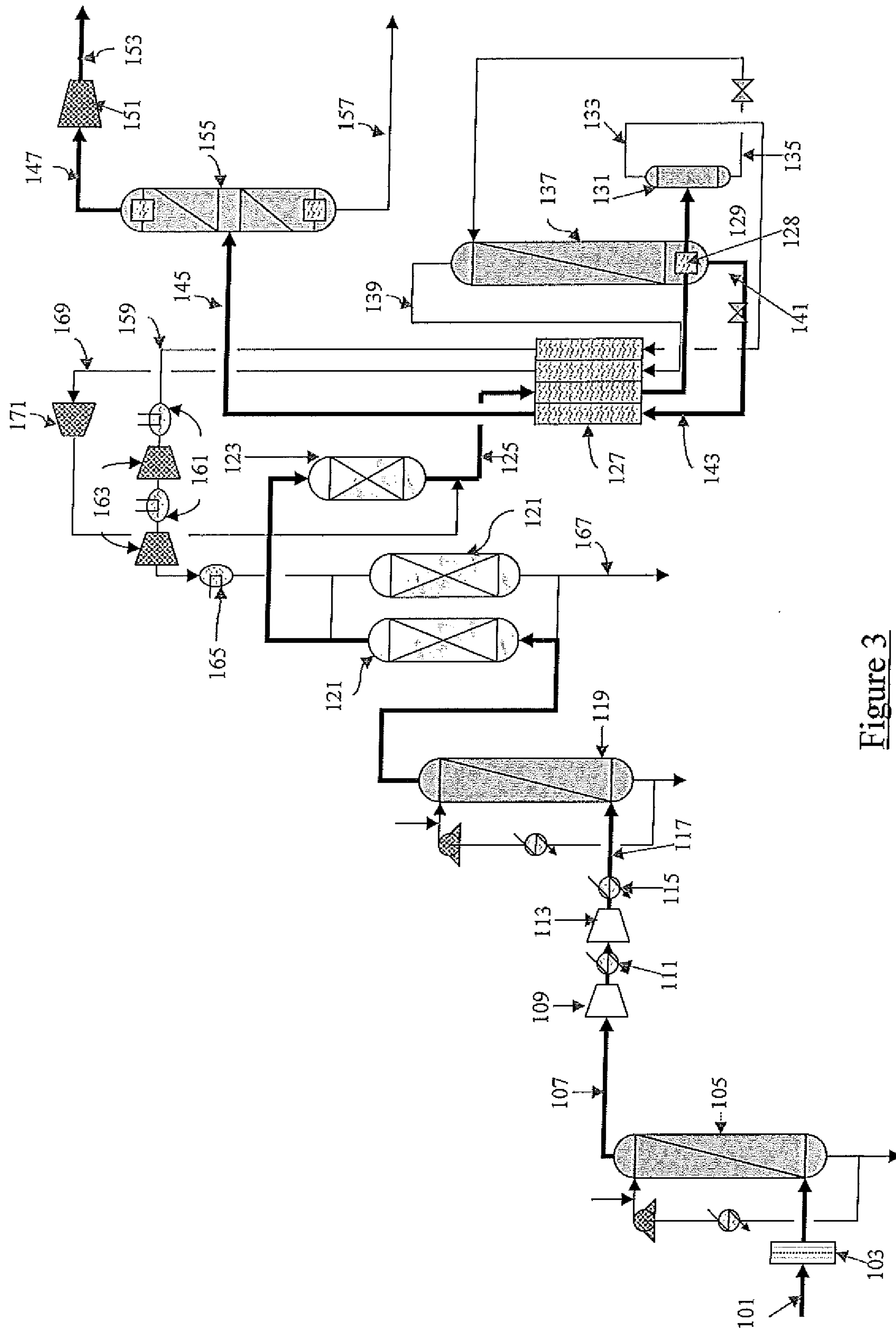


Figure 3

