



Office de la Propriété

Intellectuelle
du Canada

Un organisme
d'Industrie Canada

Canadian
Intellectual Property
Office

An agency of
Industry Canada

CA 2316730 C 2010/09/21

(11)(21) **2 316 730**

(12) **BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT**

(13) **C**

(22) Date de dépôt/Filing Date: 2000/07/28

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2001/01/29

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2010/09/21

(30) Priorité/Priority: 1999/07/29 (FR99 10 000)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C01B 3/36* (2006.01),
B01J 12/00 (2006.01), *B01J 8/00* (2006.01),
C01B 3/38 (2006.01), *F02C 3/22* (2006.01)

(72) Inventeurs/Inventors:

FRANCKOWIAK, SIGISMOND, FR;
MINKKINEN, ARI, FR

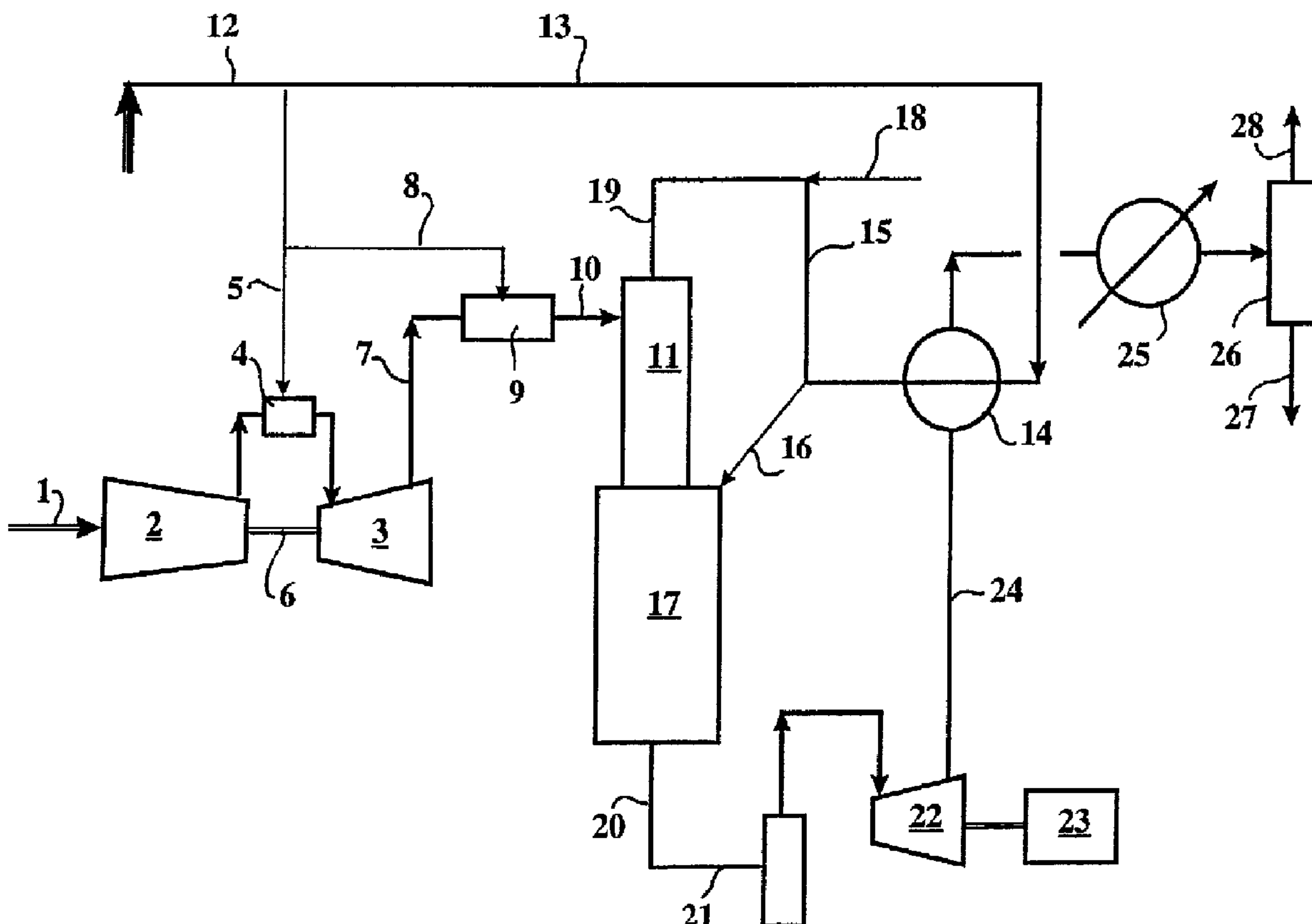
(73) Propriétaire/Owner:

INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : INSTALLATION ET PROCEDE DE PRODUCTION DE GAZ DE SYNTHESE COMPRENANT AU MOINS UNE TURBINE A GAZ

(54) Title: INSTALLATION AND PROCESS FOR THE PRODUCTION OF SYNTHETIC GAS INCLUDING AT LEAST ONE GAS TURBINE



(57) Abrégé/Abstract:

Installation de production de gaz de synthèse à partir de gaz naturel et d'air ou oxygène dilué par un gaz inerte comportant au moins un réacteur de préparation du gaz de synthèse, au moins un compresseur entraîné par une turbine de puissance.

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

L'installation selon l'invention peut en outre comprendre : au moins un moyen de séparation de l'eau formée dans la réaction, au moins un moyen de préchauffage de l'air ou oxygène dilué par un gaz inerte, au moins un moyen de préchauffage du gaz naturel, un moyen d'élimination des particules solides en sortie du réacteur et un moyen de refroidissement des effluents du réacteur. L'invention concerne également un procédé de production de gaz de synthèse utilisant cette installation.

PRECIS DE DIVULGATION

Installation de production de gaz de synthèse à partir de gaz naturel et d'air ou oxygène dilué par un gaz inerte comportant au moins un réacteur de préparation du gaz de synthèse, au moins un compresseur entraîné par une turbine de puissance.

L'installation selon l'invention peut en outre comprendre : au moins un moyen de séparation de l'eau formée dans la réaction, au moins un moyen de préchauffage de l'air ou oxygène dilué par un gaz inerte, au moins un moyen de préchauffage du gaz naturel, un moyen d'élimination des particules solides en sortie du réacteur et un moyen de refroidissement des effluents du réacteur. L'invention concerne également un procédé de production de gaz de synthèse utilisant cette installation.

**INSTALLATION ET PROCEDE DE PRODUCTION DE GAZ DE SYNTHESE
COMPRENANT AU MOINS UNE TURBINE A GAZ**

La présente invention concerne une installation et un procédé de production de gaz de synthèse. Elle permet d'éviter l'étape préliminaire de séparation de l'oxygène et de l'azote contenus dans l'air ou oxygène dilué par un gaz inerte. L'air ou oxygène dilué par un gaz inerte non séparé est donc utilisé dans la présente invention lors de la production du gaz de synthèse par oxydation partielle. L'azote est utilisé comme diluant dans la réaction d'oxydation partielle

Le procédé et l'installation selon l'invention utilisent de manière originale au moins un réacteur de préparation du gaz de synthèse, au moins un compresseur couramment disponible, associé à une turbine de puissance, l'ensemble constituant une turbine à gaz, pour fournir l'oxygène nécessaire à l'oxydation partielle, ainsi que l'énergie nécessaire au préchauffage de la charge, et au moins un moyen de séparation des effluents du réacteur.

ART ANTERIEUR :

La conversion du gaz naturel en produits liquides est économiquement intéressante, notamment dans des zones géographiques éloignées des pays industrialisés qui manquent d'infrastructure telles que par exemple des centrales électriques ou une industrie pétrochimique. Elle permet de valoriser le gaz naturel en le transformant en des produits chimiques transportables à faible coût.

Le transport du gaz naturel par gazoduc et les usines liquéfaction du gaz représentent des investissements importants et sont souvent économiquement moins rentables que la conversion chimique du gaz en liquides.

Parmi les liquides aisément synthétisés à partir de gaz naturel, on trouve notamment le méthanol et les hydrocarbures paraffiniques obtenus par synthèse Fischer-Tropsch et aisément convertis en gasoil et kérósène de grande qualité dans une unité d'hydrocraquage-isomérisant.(référence).

1a

La production de méthanol ou de diméthyléther nécessite un gaz de synthèse comprenant du monoxyde de carbone, du dioxyde de carbone et de l'hydrogène. Ce gaz de synthèse présente avantageusement un rapport molaire H₂/2CO+3CO₂ compris entre 0,4 et 10, de manière plus préféré entre 0,5 et 4.

La production d'environ 7000 à 10 000 barils par jour de gasoil (soit environ 1100 à 1600 Nm³ par jour) au moyen de la synthèse Fischer-Tropsch requiert environ 1,1 à 1,4 10⁶ Nm³/jour de gaz naturel (soit environ 40 à 50 MMSCFD). Ce gaz naturel contient essentiellement du méthane qui dans une première étape est converti en un gaz de synthèse contenant essentiellement de l'hydrogène (H₂), du monoxyde de carbone (CO), ainsi que du dioxyde de carbone (CO₂) en moindre proportion. En effet, le CO₂ ne se comporte pas comme un réactif dans la synthèse Fischer-Tropsch, alors qu'il est converti dans la réaction de synthèse du méthanol.

Le gaz de synthèse le mieux adapté à la synthèse Fischer-Tropsch doit présenter un rapport molaire H₂/CO voisin de 2. L'obtention d'un tel rapport est possible par oxydation partielle du gaz naturel (POX), ainsi que l'indique la réaction R1 :



Ce mode de production du gaz de synthèse est toutefois très onéreux et consommateur d'énergie. Dans les procédés conventionnels d'oxydation partielle, l'air est fractionné pour éliminer l'azote qui est un gaz inerte. Cette séparation nécessite des volumes d'air très importants qui doivent être comprimés et liquéfiés. De plus l'utilisation d'équipements conventionnels (compresseurs, échangeurs de chaleur, chaudières avec brûleur à gaz) entraîne des niveaux d'investissement très élevés et une utilisation inefficace de l'énergie.

Un autre usage important du gaz de synthèse est la production d'ammoniac à partir d'un gaz de synthèse contenant de l'azote. Dans ce cas le gaz de synthèse est préparé à partir d'air sans séparation de l'oxygène et de l'azote, il contient donc de l'azote en proportion importante en plus de CO, CO₂ et H₂.

Par ailleurs, il est également possible de produire de l'hydrogène à partir de gaz naturel, par exemple par reformage à la vapeur du gaz naturel afin d'obtenir un gaz de synthèse riche en hydrogène, puis de réaliser la séparation de l'hydrogène au moyen par exemple d'une unité d'absorption de type PSA (Pressure Swing Absorption), c'est-à-dire une unité d'absorption par variation de pression.

La demande de brevet WO 93/06041 décrit un procédé d'enrichissement de l'air en oxygène. Dans cette demande sont décrites différentes options pour préparer des mélanges oxygène-azote contenant plus d'oxygène que l'air. Il est en particulier revendiqué une technique de séparation permettant d'obtenir de l'air enrichie, qui utilise une séparation par membrane ou 5 une absorption de type P.S.A., associé à une turbine à gaz qui fournit l'air nécessaire en tant que charge de la section séparation. L'utilisation des gaz de purge en tant que carburant des turbines à gaz est également décrite. L'air enrichi est préférentiellement utilisé dans une unité de reformage d'une source de carbone tel que le gaz naturel, afin d'obtenir du gaz de synthèse.

10 Les demandes de brevet WO 97/33847 et WO 97/48639 décrivent un procédé de production de gaz de synthèse dans lequel l'unité de production du gaz de synthèse est disposée entre la section compression et la section comprenant la turbine de détente d'une turbine à gaz. Un compresseur additionnel est disposé après l'unité de production du gaz de synthèse et avant 15 l'unité utilisant ce gaz de synthèse pour le convertir en méthanol, ou diméthyléther, ou hydrocarbures, via la synthèse Fischer-Tropsch. Dans la demande WO 97/48639, il est précisé que la production du gaz de synthèse est assurée par une unité de reformage autotherme, également appelée ATR (autothermal reforming).

20 La demande de brevet EP 212 755 décrit un procédé de production de gaz de synthèse par réformage à la vapeur d'hydrocarbures dans lequel un échange de chaleur est réalisé entre les gaz réactifs et des gaz de combustion, dans la zone réactionnelle, lesdits gaz de combustion étant au moins partiellement recyclés vers la zone de combustion. Par ailleurs, ledit procédé peut également comporter une zone de détente et un compresseur qui peuvent être combinés avec la zone de combustion pour constituer une turbine à gaz.

25

RESUME DE L'INVENTION :

La présente invention concerne une installation et un procédé de production de gaz de synthèse, par exemple pour la synthèse Fischer-Tropsch d'hydrocarbures liquides, mais aussi 30 pour tout autre procédé nécessitant la production préalable de gaz de synthèse comme la synthèse du méthanol ou d'alcools C1-C6 par exemple. Elle permet d'éviter l'étape préliminaire de séparation de l'oxygène et de l'azote contenus dans l'air. L'air non séparé est en effet utilisé dans

la présente invention lors de la production du gaz de synthèse par oxydation partielle. L'azote de l'air, ou le gaz inert, joue donc le rôle de diluant dans la réaction d'oxydation partielle.

L'installation de production de gaz de synthèse à partir de gaz naturel et d'air selon l'invention comporte au moins un réacteur de préparation du gaz de synthèse, au moins un compresseur entraîné par une turbine de puissance, l'ensemble constituant une turbine à gaz. 5 Ledit compresseur et ladite turbine de puissance sont de préférence situés tous les deux en amont ou en aval du réacteur.

Le procédé et l'installation selon l'invention utilisent ainsi de manière originale au moins un compresseur couramment disponible et faisant partie intégrante d'une turbine à gaz, pour 10 fournir l'oxygène nécessaire à l'oxydation partielle, ainsi que l'énergie nécessaire au préchauffage de la charge.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION :

15 La présente invention concerne une installation et un procédé de production de gaz de synthèse. Dans le cas où le procédé selon l'invention utilise de l'air, cette installation permet d'éviter l'étape préliminaire de séparation de l'oxygène et de l'azote contenus dans l'air. L'air non séparé est alors utilisé dans la présente invention pour la production du gaz de synthèse par oxydation partielle.

20 Dans tous les cas, l'azote ou le gaz inert contenu dans l'air intervient en tant que diluant dans la réaction d'oxydation partielle, afin de réduire la pression partielle de monoxyde de carbone, ce qui permet par ailleurs de limiter voire d'éliminer les réactions de corrosion des métaux (metal dusting corrosion : MDC).

25 L'installation selon l'invention de production de gaz de synthèse, à partir de gaz naturel et d'air ou oxygène dilué par un gaz inert, comporte au moins un réacteur de préparation du gaz de synthèse, au moins un compresseur entraîné par une turbine de puissance, ledit compresseur et ladite turbine de puissance étant de préférence situés tous les deux du même côté du réacteur, 30 c'est-à-dire soit en amont du réacteur et alimentés par tout ou partie de la charge du réacteur, soit en aval et alimentés par tout ou partie de l'effluent du réacteur. Ainsi, un mode possible de réalisation de l'installation selon l'invention consiste à disposer au moins un compresseur et la turbine de puissance associée en amont du réacteur.

Un deuxième mode possible de réalisation consiste à disposer au moins un compresseur et la turbine de puissance associée en aval du réacteur.

- 5 Un troisième mode possible et préféré de réalisation consiste à disposer d'au moins deux compresseurs et de leurs turbines de puissance associées. Au moins un compresseur et la turbine de puissance associée étant situé en amont du réacteur et au moins un compresseur et la turbine de puissance associée étant situé en aval du réacteur.
- 10 Dans chacun de ces modes de réalisation, il est possible de substituer au moins une turbine de puissance par au moins un générateur d'électricité. Dans ce cas, seul le compresseur est alimenté par tout ou partie de la charge ou de l'effluent du réacteur.

Dans l'installation selon l'invention, la charge gazeuse (gaz naturel) peut éventuellement être séparée en au moins deux flux : un premier flux introduit dans la partie supérieure du réacteur, et un deuxième flux introduit par sa partie inférieure.

L'installation selon l'invention peut en outre éventuellement comprendre : au moins un moyen de séparation de l'eau formée dans la réaction, au moins un moyen de préchauffage de l'air ou de l'oxygène dilué par un gaz inerte, au moins un moyen de préchauffage du gaz naturel, un moyen d'élimination des particules solides en sortie du réacteur (par exemple un séparateur cyclonique) et un moyen de refroidissement des effluents du réacteur.

L'installation selon l'invention peut éventuellement comprendre deux compresseurs associées à deux turbines de puissance, chaque compresseur et sa turbine de puissance associée étant situé en amont ou en aval du réacteur. Il est également possible de substituer l'un des compresseurs par un générateur d'électricité.

Dans l'installation selon l'invention, la ou les compresseurs et la ou les turbines de puissances ne sont pas alimentés par des gaz de purge, mais soit par la charge (gaz naturel et/ou air ou oxygène dilué par un gaz inerte), soit par les effluents du réacteur de préparation du gaz de synthèse.

Le réacteur compris dans l'installation selon l'invention réalise la transformation du gaz naturel en gaz de synthèse en présence de l'oxygène de l'air ou oxygène dilué par un gaz inert, il peut de manière préférée être du type réacteur échangeur et comprendre de nombreux tubes remplis de catalyseur et immersés dans la partie inférieure du réacteur.

5

Le procédé selon l'invention peut donc être avantageusement employé pour la production de gaz de synthèse utilisable par exemple dans une unité de synthèse Fischer-Tropsch ou de synthèse d'alcools ou d'éthers.

10 Le procédé et l'installation selon l'invention utilisent de manière originale au moins un compresseur, couramment disponible et faisant partie intégrante d'une turbine à gaz, pour fournir l'oxygène nécessaire à l'oxydation partielle, ainsi que l'énergie nécessaire au préchauffage de la charge.

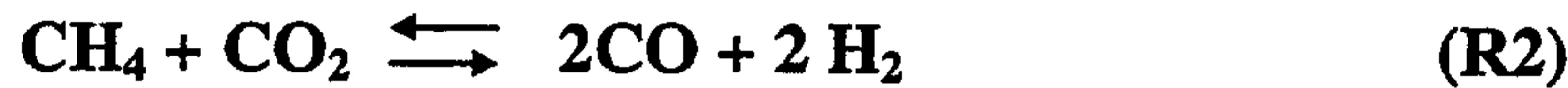
15 Dans le cas où le procédé ou l'installation selon l'invention est utilisé en amont d'un réacteur Fischer-Tropsch, il peut être intéressant, afin d'obtenir une meilleure intégration énergétique du procédé, de détendre l'effluent issu du réacteur Fischer-Tropsch à travers une turbine permettant de récupérer la puissance nécessaire à un compresseur. Ledit compresseur peut alors être utilisé pour comprimer le gaz de synthèse à la pression nécessaire pour la réaction
20 Fischer-Tropsch.

Cet enchaînement permet d'éviter la génération et l'utilisation de vapeur d'eau, ainsi que le traitement de cet eau. L'énergie qui n'est pas récupérée dans la turbine peut l'être en envoyant l'effluent de ladite turbine dans un échangeur, afin de fournir de l'énergie thermique aux unités
25 amont et/ou aval.

Le réacteur de l'installation selon l'invention est également de manière préférée un réacteur échangeur permettant d'achever le préchauffage du gaz naturel en utilisant les effluents chauds issus d'une turbine ou du réacteur. Dans le procédé selon l'invention, le gaz naturel préchauffé et lesdits effluents chauds, qui contiennent l'oxygène nécessaire à la réaction, sont injectés à co-courant à une température appropriée permettant de convertir tout ou partie des atomes de carbone contenues dans le gaz naturel en monoxyde de carbone par réaction avec
30

l'oxygène. Par ailleurs, une très forte proportion, de préférence la totalité des atomes d'hydrogène contenus dans le méthane, est convertie en hydrogène moléculaire.

De manière avantageuse, ledits effluents chauds contiennent également le CO₂ et l'eau formés dans tout ou partie des zones de combustions (turbines, réacteur de préparation du gaz de synthèse). Le CO₂ ainsi formé est principalement converti dans les conditions d'oxydation partielle connues de l'homme du métier (référence) via les réactions suivantes :



10



15



La réaction de reformage du méthane par le dioxyde de carbone (R2), permet de produire une quantité supplémentaire de gaz de synthèse. Par ailleurs la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone permettent également de réduire, voire éviter, via les réactions R4 (de la droite vers la gauche) et/ou R5, la formation de carbone ou de précurseurs de carbone au moyen des réactions R3 ou R4 (de la gauche vers la droite). La présence d'eau et de CO₂ dans l'effluent chaud conduit donc globalement à une augmentation du rendement en gaz de synthèse du procédé selon l'invention.

25 L'oxygène requis pour l'oxydation partielle est de préférence maintenu en proportion stoechiométrique par rapport au gaz naturel, afin de convertir la totalité du méthane et de l'oxygène. Cet oxygène est en général fourni exclusivement par l'excès d'oxygène issu du compresseur, après post-combustion.

30 Dans une application particulière du procédé selon l'invention, une version fonctionnant à l'air ou oxygène dilué par un gaz inerte du compresseur employé dans une turbine à gaz du type GEC LM2500 est très bien adapté au cas de la production de gaz de synthèse en amont d'une

unité Fischer-Tropsch. Toutefois, d'autres versions du procédé peuvent être envisagées qui fonctionnent avec l'oxygène dilué par un ou des gaz inertes, ou de l'air.

Le schéma de la figure 1 présente un type d'installation selon l'invention pour la 5 production de gaz de synthèse à partir de gaz naturel et d'air ou d'oxygène dilué par un gaz inerte comportant :

Une turbine à gaz comprenant un compresseur axial (2), entraîné par une turbine de puissance (3), et grâce auquel l'air ou l'oxygène dilué par un gaz inerte atmosphérique aspiré via la conduite (1) est comprimé.

10 Une chambre de combustion complète (4) où le gaz naturel arrivant via la conduite (5), est brûlé avec l'air ou l'oxygène dilué comprimé.

Une turbine (3) dans laquelle l'air (ou l'oxygène dilué) chaud et pressurisé et en ressort (flux 7) après avoir délivré de la puissance à l'arbre (6) entraînant le compresseur axial (2).

15 Une chambre de combustion additionnelle (9), dans laquelle est admis, via la conduite (8), une quantité de gaz naturel et dans laquelle le flux de gaz (7) est soumis à une post-combustion.

Une conduite (10) permettant d'envoyer le flux chaud issu de la chambre (9) côté calandre du réacteur échangeur (11).

Une conduite (12) permettant d'amener le gaz naturel, dont la majeure partie est utilisée pour la production de gaz de synthèse (flux 13).

20 Un échangeur de chaleur (14), permettant de réchauffer le flux (13) et de refroidir l'effluent (24) contenant le gaz de synthèse.

Un réfrigérant (25) permettant de condenser l'eau contenue dans l'effluent (24).

Un séparateur (26) permettant de séparer l'eau condensée et de l'éliminer via la conduite (27).

25 Un moyen de séparation de la charge gazeuse préchauffée en un flux (15) qui est introduit dans la partie supérieure du réacteur (11), et en un flux (16) envoyé directement dans la partie inférieure (17) du réacteur.

Une conduite (18) permettant d'ajouter de la vapeur.

Une conduite (19) amenant le mélange vapeur/gaz naturel dans le réacteur, qui est rapidement préchauffé au moyen du flux de gaz chaud (10) introduit côté calandre.

30 Une conduite (20) permettant la sortie de l'effluent du réacteur vers un séparateur cyclonique (21) permettant d'éliminer toute les particules solides.

Une turbine (22) dans laquelle est admis l'effluent de l'épurateur cyclonique et permettant de récupérer de l'énergie au moyen du générateur d'électricité (23).

Une conduite (28) permettant de récupérer le gaz de synthèse.

Le fonctionnement de cette installation peut être décrit de la manière suivante :

5 De l'air atmosphérique est aspiré via la conduite (1) par le compresseur axial de la turbine à gaz (2), entraîné par une turbine de puissance (integral HP power turbine) (3). L'air est comprimé et envoyé dans une chambre de combustion complète (4) où le gaz naturel (contenant principalement du méthane), arrivant via la conduite (5), est totalement brûlé afin de chauffer l'air jusqu'à une température suffisante pour la réaction d'oxydation partielle. L'air chaud et
10 pressurisé passe dans la roue de turbine (3) et en ressort (flux 7) après avoir délivré de la puissance à l'arbre (6) entraînant le compresseur axial (2).

15 Le flux de gaz sortant (7) est soumis à une post-combustion dans une chambre de combustion additionnelle (9), dans laquelle est admis, via la conduite (8), une quantité supplémentaire de méthane. Cette post-combustion permet de porter le gaz à plus haute température. Le flux chaud (10) issu de la chambre (9) est envoyé côté calandre du réacteur échangeur (11) décrit plus précisément ci-après.

20 Le gaz naturel est amené via la conduite (12). Ce gaz contient essentiellement du méthane, mais il peut également contenir du CO₂ ou des gaz inertes tel que de l'azote.

25 Le gaz naturel est utilisé en partie en temps que combustible, mais la majeure partie est utilisée pour la production de gaz de synthèse (flux 13). Ce flux est préchauffé dans l'échangeur de chaleur (14), refroidissant ainsi l'effluent (24) contenant le gaz de synthèse.

La charge gazeuse préchauffée est séparée en un flux (15) qui est introduit dans la partie supérieure du réacteur (11), et en un flux (16) qui est envoyé directement dans la partie inférieure (17) du réacteur. On ajoute au flux (15) de la vapeur à une pression appropriée par la conduite (18). Le mélange est alors introduit via la conduite (19), dans la partie supérieure du réacteur
30 (11).

La partie inférieure de chaque tube est légèrement immergée dans la partie supérieure du catalyseur d'oxydation partielle situé en fond de réacteur (zone 17). Le gaz naturel et la vapeur de

la charge sont rapidement préchauffés au moyen du flux de gaz chaud (10) introduit côté calandre, ainsi qu'il a été mentionné auparavant, jusqu'à atteindre la température de reformage.

Ce gaz chaud (10) fourni également de par sa chaleur sensible la chaleur nécessaire à 5 compenser l'endothermicité de la réaction de reformage qui se déroule dans les tubes. Les deux flux issus des tubes et circulant côté calandre sortent approximativement à une même température, pour être admis dans le lit catalytique d'oxydation partielle, où se déroule également une réaction de reformage secondaire (ou post-combustion) de l'effluent issu de la zone supérieure de reformage.

10

La totalité du gaz naturel et de l'oxygène sont consommés lorsque l'effluent quitte la partie inférieure du réacteur par la ligne (20). Ce flux (20) est envoyé vers un épurateur cyclonique permettant d'éliminer toute les particules solides, par exemple les particules de catalyseur éventuellement contenus dans le gaz, puis à la turbine (22) pour récupérer de l'énergie.

15

L'effluent gazeux délivre une puissance généralement comprise entre 10 et 50 MW, utilisée soit directement par un compresseur connecté à la turbine et non représenté, soit indirectement par le générateur d'électricité (23) de la figure 1.

Le gaz détendu (24) est refroidi avec la charge du réacteur à travers l'échangeur de 20 chaleur (14), déjà mentionné, puis finalement par de l'eau de refroidissement (par exemple à température ambiante), pour condenser l'excès d'eau issu du reformage et l'eau formée lors de la combustion dans le réfrigérant (25).

L'eau condensée est séparée du gaz de synthèse dans le séparateur (26). L'eau séparée 25 (27) peut être revaporisée et préchauffée pour être ensuite recyclée au reformage.

Le gaz de synthèse contenant du monoxyde de carbone et de l'hydrogène dilués par de l'azote, est délivré à basse pression par la ligne (28).

30

Tout ou partie, et plus généralement l'essentiel de la puissance nécessaire pour recomprimer ce gaz de synthèse afin de l'utiliser dans une unité Fischer-Tropsch peut être fournie directement ou indirectement par la turbine (22).

Un autre mode de fonctionnement de l'installation selon l'invention consiste à substituer l'air par de l'oxygène dilué par un gaz inerte.

L'utilisation de turbines à gaz selon le schéma d'intégration présenté figure 1 permet en 5 général d'éviter l'apport extérieur de vapeur d'eau, et de récupérer de l'énergie utilisable pour la compression du gaz de synthèse et/ou dans les différents échangeurs.

L'exemple suivant illustre la présente invention :

10 EXEMPLE :

On considère la production de gaz de synthèse nécessaire pour alimenter une unité Fischer-Tropsch, d'une capacité d'environ 5 000 barils par jour de distillats moyens (soit environ 800 Nm³ par jour). L'oxygène requis pour l'oxydation partielle est maintenu en proportion 15 stoechiométrique par rapport au gaz naturel, afin de convertir la totalité du méthane et de l'oxygène. Cet oxygène est fourni exclusivement par l'excès d'oxygène issu du compresseur, après post-combustion (environ 16% en volume).

Dans cet exemple, une version fonctionnant à l'air du compresseur employé dans une turbine à gaz du type GEC LM2500 est très bien adapté au cas de la production de gaz de 20 synthèse en amont d'une unité Fischer-Tropsch.

Le schéma de procédé employé est celui décrit figure 1. Le bilan matière est présenté au tableau 1.

25 De l'air atmosphérique est aspiré à 20°C via la conduite (1) par le compresseur axial de la turbine à gaz (2), entraîné par une turbine de puissance (integral HP power turbine) (3). Le débit d'aspiration est de 237 tonnes par heure (t/h). L'air est comprimé à environ 2 MPa et envoyé dans une chambre de combustion complète opérée une pression de 2 MPa (4) où 5 t/h de gaz naturel (contenant principalement du méthane), arrivant via la conduite (5), est totalement brûlé 30 afin de chauffer l'air jusqu'à une température de 1200°C. L'air chaud et pressurisé passe dans la roue de turbine (3) et en ressort (flux 7) à une température d'environ 800°C, et une pression de 0,6 MPa, après avoir délivré une puissance d'environ 20 mégawatt (MW) à l'arbre (6) entraînant le compresseur axial (2).

Le flux de gaz sortant (7) est soumis à une post-combustion dans une chambre de combustion additionnelle (9), dans laquelle est admis, via la conduite (8), une quantité supplémentaire de méthane avec un débit de 0,5 t/h. Cette post-combustion permet de porter le gaz à une température d'environ 1100°C et une pression d'environ 0,55 MPa. Le flux chaud (10) issu de la chambre (9) est envoyé côté calandre du réacteur échangeur (11).

41 t/h de gaz naturel sont amenées via la conduite (12) à une pression de 2 MPa. Ce gaz contient essentiellement du méthane, mais il peut également contenir du CO₂ ou des gaz inertes tel que de l'azote.

10

6 t/h de ce gaz naturel sont utilisés en temps que combustible, mais la majeure partie (35 t/h) est utilisée pour la production de gaz de synthèse (flux 13). Ce flux est préchauffé à environ 400°C dans l'échangeur de chaleur (14), refroidissant ainsi l'effluent (24) contenant le gaz de synthèse.

15

La charge gazeuse préchauffée est séparée en un flux (15) qui est introduit dans la partie supérieure du réacteur (11), et en un flux (16) qui est envoyé directement dans la partie inférieure (17) du réacteur. On ajoute au flux (15) de la vapeur à une pression appropriée (environ 1 MPa) par la conduite (18). Le mélange est alors introduit via la conduite (19) par l'ouverture supérieure des tubes, et est distribué dans la multitude de tubes réactionnels situés dans la partie supérieure 20 du réacteur (11) et remplis chacun avec un catalyseur conventionnel de reformage à la vapeur.

25

La partie inférieure de chaque tube est légèrement immergée dans la partie supérieure du catalyseur d'oxydation partielle situé en fond de réacteur (zone 17). Le gaz naturel et la vapeur de la charge sont rapidement préchauffés au moyen du flux de gaz chaud (10) introduit côté calandre, ainsi qu'il a été mentionné auparavant, jusqu'à atteindre la température de reformage, soit environ de 850°C.

30

Ce gaz chaud (10) fourni également de par sa chaleur sensible la chaleur nécessaire à compenser l'endothermicité de la réaction de reformage qui se déroule dans les tubes. Les deux flux issus des tubes et circulant côté calandre sortent approximativement à une même température d'environ 900°C, pour être admis dans le lit catalytique d'oxydation partielle. Dans ce lit se déroule également une réaction de reformage secondaire (ou post-combustion) de l'effluent issu de la zone supérieure de reformage. La pression opératoire de la zone d'oxydation

partielle (POX) est d'environ 0,55 MPa et la température d'environ 950°C, en raison de la légère exothermicité enregistrée pour l'ensemble des réactions de cette zone.

La totalité du gaz naturel et de l'oxygène sont consommés lorsque l'effluent quitte la 5 partie inférieure du réacteur par la ligne (20). Ce flux est envoyé vers un séparateur (épurateur) cyclonique (21) permettant d'éliminer toutes les particules solides, par exemple les particules de catalyseur, éventuellement contenues dans le gaz, avant que celui-ci soit envoyé à la turbine (22) pour récupérer de l'énergie.

10 Approximativement 277 t/h d'effluent gazeux présentant une masse moléculaire moyenne d'environ 20 kg/kmoles sont détendues de 0,5 MPa et 950°C à 2 MPa et une température d'environ 500°C en libérant une puissance d'environ 35 MW. Cette puissance est utilisée soit directement par un compresseur connecté à la turbine soit indirectement par le générateur d'électricité (23) de la figure 1.

15 Le gaz détendu (24) est refroidi avec la charge du réacteur à travers l'échangeur de chaleur (14), déjà mentionné, puis finalement par de l'eau de refroidissement à température ambiante (par exemple), pour condenser l'excès d'eau issu du reformage et l'eau formée lors de la combustion dans le réfrigérant (25).

20 L'eau condensée est séparée du gaz de synthèse à 30°C et environ 0,15 MPa dans le séparateur (26). L'eau séparée avec un débit d'environ 10 t/h (27) peut être à nouveau vaporisée et préchauffée pour être ensuite recyclée au reformage.

25 Le gaz de synthèse dilué par de l'azote est délivré à basse pression (0,15MPa) et 30°C, par la ligne (28), avec un débit d'environ 268 t/h correspondant approximativement à 4200 kmoles/h d'hydrogène et 2300 kmoles/h de monoxyde de carbone. Ce gaz de synthèse présente une masse moléculaire moyenne d'environ 20,5 kg/kmoles.

30 Environ 35 MW de puissance sont nécessaires pour recomprimer ce gaz de synthèse afin de l'utiliser dans une unité Fischer-Tropsch. Cette puissance peut être fournie directement ou indirectement par la turbine (22).

Cet exemple montre que le procédé selon l'invention permet d'obtenir un gaz de synthèse utilisable en aval dans un procédé de synthèse Fischer-Tropsch. En effet, le gaz de synthèse

obtenu présente un rapport H₂/CO voisin de 2 (cf. tableau 1) et une faible teneur en CO₂ et en méthane non converti. Ce gaz de synthèse est obtenu sans séparation de l'oxygène de l'air, ce qui constitue un avantage en terme d'investissements.

- 5 Par ailleurs, l'utilisation de turbines à gaz dans l'utilisation selon l'invention permet d'éviter l'apport extérieur de vapeur d'eau et de récupérer de l'énergie utilisable pour la compression du gaz de synthèse et/ou dans les échangeurs.

Table 1 : Bilan matière

| Composé | Composition des flux (kmoles/h) | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------------|------|-----|-----|------|------|-------|-------|-----|-------|
| | 1 | 12 | 5 | 8 | 13 | 7 | 10 | 20 | 27 | 28 |
| H ₂ | - | - | - | - | - | - | - | 4198 | - | 4198 |
| CO | - | - | - | - | - | - | - | 2369 | - | 2369 |
| CO ₂ | 75 | - | - | - | - | 387 | 449 | 179 | - | 179 |
| N ₂ | 6115 | - | - | - | - | 6115 | 6115 | 6115 | - | 6115 |
| O ₂ | 1645 | - | - | - | - | 1021 | 959 | Nil | - | Nil |
| H ₂ O | 82 | - | - | - | - | 706 | 768 | 768 | 560 | 208 |
| CH ₄ | - | 2531 | 312 | 31 | 2188 | - | - | Nil | - | Nil |
| TOTAL (kmoles/h) | 7917 | 2531 | 312 | 31 | 2188 | 8229 | 8291 | 13629 | 560 | 13069 |
| TOTAL (T/h) | 237 | 40.5 | 5 | 0.5 | 35 | 242 | 242.5 | 277.5 | 10 | 267.5 |

Les réalisations de l'invention au sujet desquelles un droit exclusif de propriété ou de privilège est revendiqué, sont définies comme il suit :

1. Installation de production de gaz de synthèse à partir de gaz naturel et d'air ou d'oxygène dilué par un gaz inert comportant au moins un réacteur de préparation du gaz de synthèse et au moins un compresseur entraîné par une turbine de puissance, ainsi qu'un générateur d'électricité et sa turbine de puissance associée.
2. Installation selon la revendication 1 dans laquelle au moins un compresseur et la turbine de puissance associée sont situés en amont du réacteur.
3. Installation selon la revendication 1 dans laquelle au moins un compresseur et la turbine de puissance associée sont situés en aval du réacteur.
4. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 comprenant en outre un moyen de séparation de l'eau formée dans la réaction.
5. Installation selon l'une des revendications 1 à 4 dans laquelle dans laquelle la charge gazeuse est séparée en au moins deux flux: un premier flux introduit dans la partie supérieure du réacteur, et un deuxième flux introduit par sa partie inférieure.
6. Installation selon l'une des revendications 1 à 5 comprenant en outre au moins un moyen de préchauffage de l'air ou de l'oxygène dilué par un gaz inert et au moins un moyen de préchauffage du gaz naturel.
7. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 comprenant deux compresseurs associées à deux turbines de puissance.
8. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 comprenant en outre un moyen d'élimination des particules solides en sortie du réacteur.
9. Installation selon la revendication 8 dans laquelle le moyen d'élimination des particules solides est un séparateur cyclonique.

10. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 comprenant en outre un moyen de refroidissement des effluents du réacteur.

11. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 dans laquelle le réacteur comprend des tubes remplis de catalyseur et immersés dans la partie inférieure du réacteur.

12. Installation de production de gaz de synthèse à partir de gaz naturel et d'air ou d'oxygène dilué par un gaz inert comportant:

une turbine à gaz comprenant un compresseur axial (2) entraîné par une turbine de puissance (3) et grâce auquel l'air ou oxygène dilué par un gaz inert atmosphérique aspiré via la conduite (1) est comprimé, une chambre de combustion complète (4) où le gaz naturel arrivant via la conduite (5) est brûlé avec l'air ou oxygène dilué par un gaz inert comprimé, une turbine (3) dans laquelle l'air ou oxygène dilué par un gaz inert chaud et pressurisé et en ressort (flux 7) après avoir délivré de la puissance à l'arbre (6) entraînant le compresseur axial (2), une chambre de combustion additionnelle (9) dans laquelle est admis via la conduite (8) une quantité de gaz naturel et dans laquelle le flux de gaz (7) est soumis à une post-combustion, une conduite (10) permettant d'envoyer le flux chaud issu de la chambre (9) côté calandre du réacteur échangeur (11), une conduite (12) permettant d'amener le gaz naturel dont la majeure partie est utilisée pour la production de gaz de synthèse (flux 13), un échangeur de chaleur (14) permettant de réchauffer le flux (13) et de refroidir l'effluent (24) contenant le gaz de synthèse, un réfrigérant (25) permettant de condenser l'eau contenue dans l'effluent (24), un séparateur (26) permettant de séparer l'eau condensée et de l'éliminer via la conduite (27), un moyen de séparation de la charge gazeuse préchauffée en un flux (15) qui est introduit dans la partie supérieure du réacteur (11) et en un flux (16) envoyé directement dans la partie inférieure (17) du réacteur, une conduite (18) permettant d'ajouter de la vapeur, une conduite (19) amenant le mélange vapeur/gaz naturel dans le réacteur qui est rapidement préchauffé au moyen du flux de gaz chaud (10) introduit côté calandre, une conduite (20) permettant la sortie de l'effluent du réacteur vers un séparateur cyclonique (21) permettant d'éliminer toute les particules solides, une turbine (22) dans laquelle est admis l'effluent de l'épurateur cyclonique et permettant de récupérer de l'énergie au moyen du générateur d'électricité (23), une conduite (28) permettant de récupérer le gaz de synthèse.

13. Utilisation d'une installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 12 pour la production de gaz de synthèse à partir de gaz naturel.

14. Utilisation selon la revendication 13, dans laquelle le gaz de synthèse est un gaz utilisable dans une unité de synthèse Fischer-Tropsch.

15. Procédé de production de gaz de synthèse à partir de gaz naturel et d'air ou d'oxygène dilué pour un gaz inert comprenant les étapes suivantes:

l'air atmosphérique est aspiré via la conduite (1) par le compresseur axial de la turbine à gaz
10 (2), entraîné par une turbine de puissance (3), l'air est comprimé et envoyé dans une chambre de combustion complète (4) où le gaz naturel (5) est totalement brûlé, l'air chaud et pressurisé passe dans la roue de turbine (3) et en ressort (flux 7) après avoir délivré de la puissance à l'arbre (6) entraînant le compresseur axial (2), le flux de gaz sortant (7) est soumis à une post-combustion dans une chambre de combustion additionnelle (9) dans laquelle est admis via la conduite (8) une quantité supplémentaire de méthane, le flux chaud (10) issu de la chambre (9) est envoyé côté calandre du réacteur échangeur (11), le gaz naturel est amené via la conduite (12), le flux (13) est préchauffé dans l'échangeur de chaleur (14) refroidissant ainsi l'effluent (24) contenant le gaz de synthèse, la majeure partie du gaz naturel est utilisée pour la production de gaz de synthèse (13), la charge gazeuse préchauffée est séparée en un flux (15) introduit dans la partie supérieure du réacteur (11) et un flux (16) envoyé dans la partie inférieure (17) du réacteur, on ajoute au flux (15) de la vapeur par la conduite (18), le mélange est introduit via la conduite (19) dans la partie supérieure du réacteur (11), le gaz naturel et la vapeur de la charge sont préchauffés au moyen du flux de gaz chaud (10) introduit côté calandre, la totalité du gaz naturel et de l'oxygène sont consommés lorsque l'effluent quitte la partie inférieure du réacteur par la ligne (20), le flux (20) est envoyé vers un épurateur cyclonique permettant d'éliminer toute les particules solides puis à la turbine (22) pour récupérer de l'énergie, l'effluent gazeux délivre une puissance utilisée par le générateur d'électricité (23), le gaz détendu (24) est refroidi avec la charge du réacteur à travers l'échangeur de chaleur (14) puis le réfrigérant (25), l'eau condensée est séparée du gaz de synthèse dans le séparateur (26) et sort par la conduite (27), le gaz de synthèse est délivré par la ligne (28).

16. Procédé selon la revendication 15, dans lequel le gaz de synthèse produit est un gaz de synthèse utilisable dans une unité de synthèse Fischer-Tropsch.

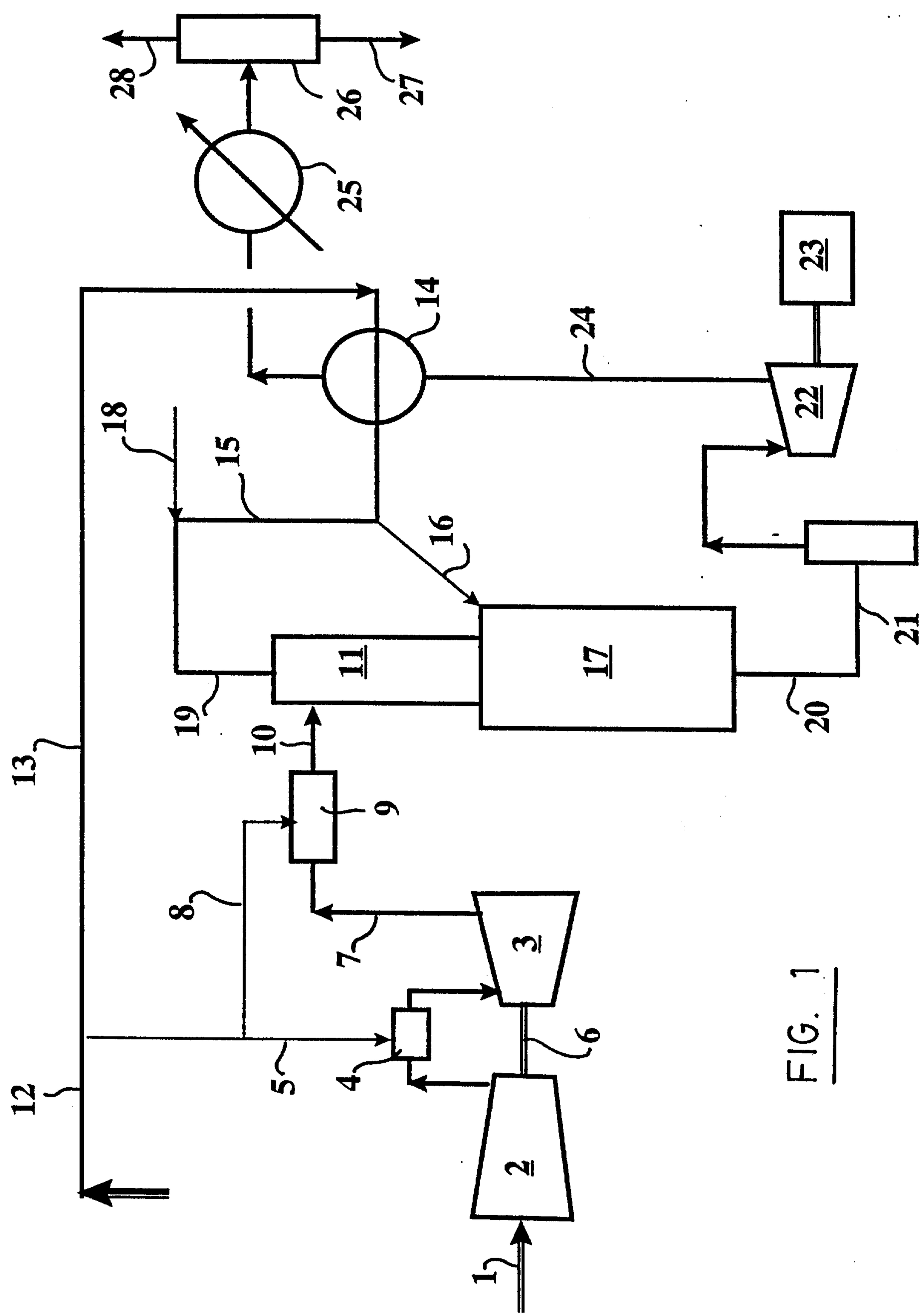


FIG. 1

