

ROYAUME DU MAROC

OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIÉTÉ (19)
INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE



المملكة المغربية

المكتب المغربي
للملكية الصناعية والتجارية

(12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication : **MA 34093 B1**
(51) Cl. internationale : **F25J 3/06; B01D 53/00; C01B 31/20**
(43) Date de publication : **05.03.2013**

(21) N° Dépôt : **35258**

(22) Date de Dépôt : **26.09.2012**

(30) Données de Priorité : **03.03.2010 EP 10002158.3**

(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT : **PCT/IB2011/000263 11.02.2011**

(71) Demandeur(s) : **ALSTOM TECHNOLOGY LTD, Brown Boveri Strasse 7 CH-5400 Baden (CH)**

(72) Inventeur(s) : **STALLMANN, Olaf**

(74) Mandataire : **SABA & CO**

(54) Titre : **PROCÉDÉ ET INSTALLATION DE LIQUÉFACTION DE GAZ DE CARNEAU ISSU D'INSTALLATIONS DE COMBUSTION**

(57) Abrégé : LA PRÉSENTE INVENTION A POUR OBJET UN PROCÉDÉ ET UNE INSTALLATION DE PRODUCTION DE CO₂ LIQUIDE À PARTIR DE GAZ DE CARNEAU COMME DÉCRIT AVEC UNE CONSOMMATION D'ÉNERGIE RÉDUITE ET UN COMPORTEMENT STABLE.

ABREGE

La présente invention a pour objet un procédé et une installation de production de CO₂ liquide à partir de gaz de carneau comme décrit avec une consommation d'énergie réduite et un comportement stable.

(ONZE PAGES)

ALSTOM TECHNOLOGY LTD
P. P. SABA & CO., Casablanca

311 13
05 MARS 2013

iv/31258

PROCEDE ET INSTALLATION DE LIQUEFACTION DE GAZ DE CARNEAU ISSU D'INSTALLATIONS DE COMBUSTION

Contexte

5 La présente description concerne un procédé et une installation de liquéfaction du CO₂ contenu dans les gaz de carneau.

La plupart des procédés cryogènes servant à la production de CO₂ à partir de gaz de carneau emploient des schémas de séparation conventionnels ayant deux étages de séparation ou plus. Dans la figure 1, une telle installation est illustrée en forme d'un bloc diagramme.

10 Dans les figures 1 et 2, la température et la pression à divers endroits du courant de gaz de carneau ainsi que celles du CO₂ sont indiquées par des soi-disant fanions. Les températures et les pressions appartenant à chaque fanion sont rassemblées dans un diagramme ci-après. Les personnes du métier se rendront compte que ces températures et pressions sont
15 données à titre d'exemple, celles-ci pouvant varier en fonction de la composition du gaz de carneau, de la température ambiante et de la pureté requise du CO₂ liquide.

Dans un premier compresseur 1, le gaz de carneau est comprimé. Cette compression peut être un procédé de compression à plusieurs étages avec des refroidisseurs et des séparateurs d'eau entre chaque étage de compression (non illustré) séparant la majorité de la vapeur d'eau ou de l'eau du gaz de carneau.

20 Dans la figure 1, le courant de gaz de carneau est désigné par le numéro de référence 3. Quand émis par le premier compresseur 1, le gaz de carneau a une température significativement plus élevée que la température ambiante puis il est refroidi à 13°C approximativement par un premier refroidisseur 5. La pression est approximativement 35.7 bars.

25 L'humidité toujours contenue dans le courant de gaz de carneau 3 est débarrassée de l'eau par un procédé de séchage adéquat, par exemple elle est séchée par adsorption dans un sécheur 7 et envoyée ensuite vers un premier étage de séparation 9. Ce premier étage de séparation 9 comporte un premier échangeur de chaleur 11 et un premier tambour de séparation 13. Le premier échangeur de chaleur 11 sert à refroidir le courant de gaz de
30 carneau 3. En raison de ce refroidissement, une condensation partielle du CO₂ contenu dans le courant de gaz de carneau 3 a lieu. Par conséquent, le gaz de carneau 3 entre dans le premier tambour de séparation 13 en forme d'un mélange à deux phases. Là, la phase liquide et la phase gazeuse du courant de gaz de carneau sont séparées par gravitation. Dans le premier tambour de séparation, la pression est approximativement 34.7 bars et la
35 température est -19°C (cf. fanion no. 5).

Au fond du premier tambour de séparation 13, le CO₂ liquide est extrait et moyennant un premier détendeur de pression 15.1 détendu à une pression de 18.4 bars approximativement (cf. No. réf. 3.1). Ceci produit une température du CO₂ comprise entre -22°C et -29°C (cf. fanion no. 10). Le courant de CO₂ partiel 3.1 des gaz de carneau est chauffé et évaporé
40 dans le premier échangeur de chaleur 11 par le gaz de carneau 3. A la sortie du premier échangeur de chaleur 11, le courant partiel 3.1 a une température de 25°C approximativement et une pression de 18 bars approximativement (cf. fanion no. 11).

Lorsque le second courant partiel 3.2 qui est extrait à la tête du premier tambour de séparation 13 fait suite, il devient clair que ce courant partiel 3.2 qui est extrait du premier

- tambour de séparation 13 à l'état gazeux est refroidi dans un second échangeur de chaleur 17 et partiellement condensé. Par la suite, ce courant partiel 3.2 qui est présent aussi en forme d'un mélange à deux phases est envoyé vers le second tambour de séparation 19. Le second échangeur de chaleur 17 et le second tambour de séparation 19 sont les composants principaux du second étage de séparation 21.
- 5 Dans le second tambour de séparation 19, de nouveau une séparation par gravité entre la phase liquide et la phase gazeuse du courant partiel 3.2 a lieu. Dans le second tambour de séparation 19, la pression est approximativement 34.3 bars et la température approximativement -50°C (cf. fanion no. 11).
- 10 La phase gazeuse dans le second tambour de séparation 19, le soi-disant dégagement gazeux 23, est extrait au niveau de la tête du second tambour de séparation 19, détendu à 17 bars approximativement dans un second détendeur de pression 15.2, de façon à se refroidir à -54°C approximativement.
- Dans les figures, le dégagement gazeux est désigné par le numéro de référence 23. Le
- 15 dégagement gazeux 23 passe à travers le second échangeur de chaleur 17 refroidissant ainsi le gaz de carneau 3.2 en contre-courant.
- Au fond du second tambour de séparation 19, le CO₂ liquide est extrait et détendu à 17 bars approximativement dans un troisième détendeur de pression 15.3, lui permettant aussi d'atteindre une température de -54°C (cf. fanion no. 7a). Ce courant partiel 3.3 est aussi
- 20 envoyé au second échangeur de chaleur 17, où une partie du CO₂ liquide s'évapore et un courant partiel 3.3.1 est extrait du second échangeur de chaleur 19, détendu à 5 à 10 bars approximativement dans un quatrième détendeur de pression 15.4, atteignant ici aussi une température de -54°C (cf. fanion no. 7b), et de nouveau envoyé au second échangeur de chaleur 17.
- 25 Après le passage du courant partiel 3.3.1 à travers le second échangeur de chaleur 17, il est de nouveau réuni avec le courant partiel 3.3 et envoyé au premier échangeur de chaleur 11. A l'entrée du premier échangeur de chaleur 11, ce courant partiel a une pression de 5 à 10 bars approximativement avec une température de -22 à -29°C (cf. fanion no. 14).
- Ce courant partiel 3.3 absorbe la chaleur dans le premier échangeur de chaleur 11, si bien qu'à la sortie de cet échangeur il atteint une température de -7°C approximativement avec
- 30 une pression de 5 à 10 bars approximativement. Le troisième courant partiel 3.3 est envoyé au premier étage de compression d'un second compresseur 25, tandis que le courant partiel 3.1 ayant une pression de 18 bars approximativement est envoyé au second étage de compression du compresseur à trois étages 25 illustré dans la figure 1.
- 35 Un refroidisseur intermédiaire existant entre les divers étages du second compresseur 25 et un refroidisseur intermédiaire du CO₂ comprimé ne sont pas illustrés dans la figure 1.
- A la sortie du second compresseur 25, le CO₂ comprimé a une pression comprise entre 60 bars et 110 bars avec des températures de 80°C à 130°C. Dans le refroidisseur intermédiaire, non illustré, le CO₂ est refroidi à la température ambiante.
- 40 Au besoin, le CO₂ est soit directement alimenté dans la conduite ou liquéfié et envoyé à partir d'une première pompe du CO₂ 27 par exemple dans une conduite (non illustrée). La première pompe du CO₂ 27 élève la pression du CO₂ liquide à la pression donnée dans la conduite.
- 45 De retour au dégagement gazeux 23, on peut constater que le dégagement gazeux passe à travers le second échangeur de chaleur 17 et le premier échangeur de chaleur 11, absorbant

ainsi la chaleur du gaz de carneau 3. A la sortie du premier échangeur de chaleur 11, le dégagement gazeux a une température de 26°C à 30°C approximativement avec une pression de 26 bars approximativement (cf. fanion no. 16).

5 Pour maximiser la récupération d'énergie, le dégagement gazeux 23 est surchauffé à l'aide d'un surchauffeur du dégagement gazeux 29 puis envoyé vers une turbine de détente 31 ou toute autre machine de détente, où l'énergie mécanique est recyclée et par la suite le dégagement gazeux est émis dans l'environnement avec une basse pression correspondant approximativement à la pression environnante.

10 Cette installation de liquéfaction du CO₂ décrite dans la figure 1 est relativement simple et fonctionne sans problèmes. L'inconvénient de ce procédé et de cette installation de production du CO₂ liquide à partir du gaz de carneau issu des centrales, par exemple à combustibles fossiles, est sa demande énergétique élevée qui se reflète en effets négatifs sur le degré de rendement net de la centrale.

Résumé

15 La présente invention concerne un procédé et une installation de liquéfaction du CO₂ contenu dans le gaz de carneau, qui fonctionnent avec une demande énergétique réduite et augmentent ainsi le degré de rendement net de la centrale.

En même temps, le procédé est simple et le procédé de fonctionnement favorablement contrôlable afin de garantir une opération robuste, sans problèmes.

20 Selon un mode de réalisation de la présente invention, ces avantages sont concrétisés en envoyant le courant partiel 3.2 de CO₂ liquide après sa sortie du second échangeur de chaleur 17 vers un troisième tambour de séparation ayant une pression de 16.5 bars approximativement et une température de -47°C. Là aussi une séparation de la phase liquide et de la phase gazeuse a lieu et une partie importante de la phase liquide subit une
25 élévation de la pression par une seconde pompe du CO₂ (cf. fanion no. 7e), puis est détendue et peut ainsi être utilisée pour le refroidissement dans le second échangeur de chaleur. Toutefois, ce courant partiel doit être détendu à 20 bars uniquement, afin d'être envoyé avec la phase liquide en provenance du premier tambour de séparation au premier échangeur de chaleur et par la suite au second étage de compression du second
30 compresseur.

Un avantage de ce procédé est qu'une petite partie uniquement du CO₂ liquide présent au dernier étage de séparation doit être détendue à une pression de 5 à 10 bars. Il est plutôt possible de détendre une partie considérablement plus grande de CO₂ liquide à une
35 pression de 18 bars approximativement afin que cette partie agrandie puisse être injectée dans le second étage de compression du second compresseur. Ceci occasionne une réduction considérable de la puissance requise pour le second compresseur 25, ce qui se traduit directement en un degré de rendement net amélioré de la centrale amont. Il en est de même pour les revendications 8 à 10 concernant le procédé. Les avantages des sous-revendications sont expliqués ci-après relativement à la figure 2.

40 Brève description des figures

En nous référant aux figures, où les articles identiques portent une numérotation semblable dans les diverses figures :

La figure 1 décrit une installation de liquéfaction du CO₂ à partir des gaz de carneau selon la technique antérieure, et

La figure 2 décrit un mode de réalisation de l'installation de liquéfaction du CO₂ selon l'invention. Dans la figure 2, les composants identiques portent des numéros de référence identiques. Les énoncés relatifs à la figure 1 s'appliquent aussi.

Description détaillée

5 En nous référant à la Figure 2, le traitement du courant de gaz de carneau 3 dans le premier compresseur 1, le premier refroidisseur 5, le sécheur 7, le premier échangeur de chaleur 11 et le premier tambour de séparation 13 a lieu exactement comme décrit dans la figure 1. Aussi, la phase gazeuse 3.2 est extraite à la tête du premier tambour de séparation 13, comme expliqué dans la figure 1, transportée à travers le second échangeur de chaleur 17
10 puis envoyée au second tambour de séparation 19. Les deux phases (liquide et gazeuse) du courant partiel 3.2 sont divisées dans le second tambour de séparation 19 en courant de dégagement gazeux 23 et CO₂ liquide. Au fond du second tambour de séparation 19, ce courant partiel est extrait et porte le numéro de référence 3.3 comme dans la figure 1.

Comme expliqué déjà dans la figure 1, le courant partiel 3.3 est détendu à une pression de
15 15.5 bars dans un troisième détenteur de pression 15.3, se refroidissant ainsi à -54°C. Le courant partiel 3.3 passe à travers le second échangeur de chaleur 17, absorbant ainsi la chaleur du courant partiel 3.2 du gaz de carneau, et entre avec une température de -47°C approximativement (cf. fanion no. 8) puis est envoyé vers un troisième tambour de séparation 33.

20 Là, le CO₂ partiellement gazeux et partiellement liquide a une pression de 16.5 bars approximativement et une température de -47°C (cf. fanion no. 9).

A la tête du troisième tambour de séparation 33, la phase gazeuse est extraite et détendue dans un quatrième détenteur de pression 15.4. Le courant partiel gazeux extrait à la tête du
25 troisième tambour de séparation 33 est désigné par le numéro de référence 3.4 dans la figure 2. Au pied du troisième tambour de séparation 33, un courant partiel liquide plus petit 3.5 est extrait et détendu dans un cinquième détenteur de pression 15.5. Par la suite, les courants partiels 3.4 et 3.5 sont réunis de nouveau. Ils ont alors une pression de 5 à 10 bars approximativement et une température de -54°C (cf. fanion no. 7d).

La pression du CO₂ liquide présent dans le troisième tambour de séparation 33 est élevée à
30 un niveau de pression accru de 20 bars à 23 bars approximativement dans un sixième courant partiel 3.6 par une seconde pompe du CO₂ 35 (cf. fanion no. 7e)

Dans un sixième détenteur de pression 15.6, le CO₂ qui était jusque-là liquide est détendu à une pression de 20 bars approximativement et une température de -45°C. Avec ce CO₂
35 partiellement liquide, partiellement gazeux, le courant de gaz de carneau 3.2 dans le second échangeur de chaleur 17 est refroidi. Comme la température d'entrée du courant partiel 3.6 est supérieure aux températures d'entrée du dégagement gazeux 23 et du courant partiel 3.3, le courant partiel 3.2 est d'abord refroidi avec le courant partiel 3.6. D'où, il est possible d'absorber la chaleur du courant partiel 3.2 même avec cette température supérieure de -47°C. Dans la figure 2 aussi, ce fait peut être clairement constaté
40 graphiquement.

Le courant partiel 3.2 quitte le second échangeur de chaleur 17 à une température de -22°C à -29°C approximativement et rejoint le courant partiel 3.1 extrait auparavant du premier
45 tambour de séparation 13. Comme la pression atteint 34.5 bars approximativement dans le premier tambour de séparation 13, le courant partiel liquide 3.1 du premier tambour de séparation 13 est détendu à 20 bars approximativement dans un septième détenteur de pression 15.7. Ces deux courants partiels 3.1 et 3.6 réunis entrent dans le premier

échangeur de chaleur 11 à une température de -22°C à -29°C approximativement (cf. fanion no. 10), absorbant ainsi la chaleur du courant de gaz de carneau 3. Ils quittent le premier échangeur de chaleur (cf. fanion no. 11) à une température de 25°C approximativement et une pression de 18 bars approximativement et peuvent ainsi être
5 envoyés au second étage de compression du second compresseur 25.

Comme les courants partiels 3.1 et 3.6 peuvent être envoyés au second étage de compression du second compresseur 25, le courant partiel 3.3, qui doit être envoyé au premier étage de compression du second compresseur 25, est en conséquence réduit. De là, la puissance requise par le second compresseur 25 est inférieure. Ceci a des effets positifs
10 sur la demande énergétique de l'installation conformément à l'invention.

Une seconde possibilité de réduire la demande énergétique de l'installation de liquéfaction du CO_2 consiste non seulement à surchauffer le dégagement gazeux 23 dans le surchauffeur du dégagement gazeux 19 après sa sortie du premier échangeur de chaleur 11, mais aussi à le renvoyer au second échangeur de chaleur 17 après la détente dans la turbine
15 de détente 31. Après la surchauffe, le dégagement gazeux a une température de 80°C approximativement à 100°C approximativement avec une pression de 26 bars approximativement (cf. fanion no. 17). Moyennant la détente dans la machine de détente 31, la pression chute à 2.3 bars et le dégagement gazeux atteint une température de -54°C . Ainsi le dégagement gazeux peut de nouveau contribuer au refroidissement du courant de
20 gaz de carneau 3 ou du courant partiel 3.2. Par la suite, le dégagement gazeux peut être émis dans l'environnement avec une basse pression et à la température environnante approximativement. Il est également possible d'effectuer une détente à plusieurs étages et une surchauffe du dégagement gazeux 23 (non illustré dans la figure 2).

Ceci occasionne aussi une réduction considérable de la demande énergétique de l'installation conformément à l'invention, puisque d'une part le dégagement gazeux 23 contribue davantage au refroidissement du courant de gaz de carneau 3 ou du courant partiel 3.2 et la machine de détente 31 produit un travail mécanique qui peut être utilisé par
25 exemple pour actionner le premier compresseur 1 ou le second compresseur 25. En conclusion, on peut affirmer que le procédé selon l'invention et l'installation de liquéfaction du CO_2 selon l'invention servant à exécuter le procédé ont toujours une conception simple bien qu'offrant des avantages considérables.
30

Un autre avantage est que le courant partiel 3.6 est détendu à une pression avec laquelle il est possible de le réunir avec le courant partiel 3.1, qui est extrait comme phase liquide du premier tambour de séparation 13. Ainsi ces deux courants partiels sont amenés à un
35 niveau de pression et de température commun et envoyés au second étage de compression du second compresseur.

Par ailleurs, cette configuration améliore clairement le contrôle de la condensation du gaz de carneau. En ajustant le débit dans la pompe de CO_2 35, la force d'entraînement pour le transfert thermique, la différence de température logarithmique moyenne (LMTD), varie.
40 De cette façon, la performance du second étage de séparation 21 peut être adaptée. Ceci est particulièrement important pendant le fonctionnement à des températures de condensation proches du point de sublimation et du point de congélation du CO_2 .

Afin de maximiser l'effet décrit, la récupération de chaleur à partir du dégagement gazeux issu de la séparation peut être accrue en recirculant le gaz évacué vers la boîte froide, après
45 la détente, au moins une fois avant sa libération dans l'atmosphère.

Table des fanions, pressions et températures.

Fanion no.	Température, approx. [°C]	Pression, approx. [bar]
1	13	35.7
2	13	35
3	-	-
4	-	-
5	-19	34.7
6	-50	34.3
7	-53°C	5 à 10
7a	-54	27
7b	-54	5 à 10
7c	-54	15.5
7d	-54	5 à 10
7e	-45	20 à 23
7f	-45	20
8	-47	16.5
9	-47	16.5
10	-22 à -29	18.4
11	25	18
12	-7	5-10
13	-22 à -29	20
14	-22 à -29	5-10
15	-	
16	26 à 30	26
17	80 à 100	25.8
18	-54	2.3
19	80 à 130	60 à 110
	Les tolérances pour les températures sont $\pm 5^{\circ}\text{C}$	Les tolérances pour les pressions sont ± 5 bars

5 Bien que l'invention soit décrite en référence à un nombre de modes de réalisation préférés, les personnes du métier se rendront compte que divers changements peuvent être introduits et que des équivalents peuvent remplacer des éléments sans se départir de la portée de l'invention. Par ailleurs, plusieurs modifications peuvent être faites pour adapter une situation ou une matière particulière aux enseignements de l'invention sans se départir de sa portée essentielle. Par conséquent, l'invention ne se limite pas aux modes de réalisation particuliers révélés en tant que meilleurs modes envisagés pour la réalisation de cette invention, mais celle-ci englobera tous les modes de réalisation couverts par la portée des revendications annexées. En outre, l'emploi des termes premier, second, etc. 10 n'indiquent pas un ordre ou une importance quelconque, mais sont plutôt utilisés pour distinguer un élément d'un autre.

15

Revendications

On revendique ce qui suit :

1. Un procédé de production de CO₂ liquide à partir du gaz de carneau où le gaz de carneau est partiellement condensé dans deux étages de séparation (9, 21) au moins, les deux étages de séparation (9, 21) au moins sont refroidis par le dégagement gazeux détendu (23) et le CO₂ liquide détendu (3.1, 3.3) et où le CO₂ détendu est séparé après son passage dans le dernier étage de séparation (21) en CO₂ liquide et CO₂ gazeux et un tambour de séparation additionnel (33), et où le CO₂ gazeux et une partie du CO₂ liquide du tambour de séparation additionnel (33) sont détendus à un premier niveau de pression (fanion 7d) de telle sorte que la pression du reste du CO₂ liquide (3.6) est élevée à un second niveau de pression (fanion 7e) et détendue (fanion 7e) pour refroidir le CO₂ dans le dernier étage de séparation (21).
2. Le procédé conformément à la revendication 1, où le reste du CO₂ liquide (3.6) est détendu à une pression de 15 bars à 25 bars approximativement, de préférence à 20 bars (fanion 13).
3. Le procédé conformément à la revendication 1, où le CO₂ liquide (3.1) de l'avant dernier étage de séparation (9) est détendu à la pression du reste du CO₂ liquide (3.6) et les deux courants de CO₂ (3.1, 3.6) sont utilisés à des fins de refroidissement dans l'avant dernier étage de séparation (9).
4. Le procédé conformément à la revendication 3, où les deux courants de CO₂ (3.1, 3.6) sont alimentés au second ou troisième étage d'un second compresseur (25).
5. Le procédé conformément à la revendication 1, où le gaz de carneau est comprimé dans un premier compresseur (1), refroidi dans un premier refroidisseur (5) et/ou séché dans un sécheur (7) avant d'entrer dans le premier étage de séparation (9).
6. Le procédé conformément à la revendication 1, où le dégagement gazeux (23) provenant du dernier étage de séparation (21) est détendu à 17 bars approximativement, produisant une température de -54°C approximativement, avant d'entrer dans un échangeur de chaleur (17) du dernier étage de séparation (21).
7. Le procédé conformément à la revendication 1, où le dégagement gazeux (23) est surchauffé dans un surchauffeur (29) après son passage dans tous les étages de séparation (21, 9) et détendu dans une machine de détente (31) et par la suite envoyé de nouveau vers l'échangeur de chaleur (17) du dernier étage de séparation (21).
8. Une installation de production du CO₂ liquide à partir de gaz de carneau où le gaz de carneau (3) est partiellement condensé dans deux étages de séparation (9, 21) au moins, plusieurs détendeurs de pression (15), une seconde pompe du CO₂ (35), un tambour de séparation additionnel (33) et un second compresseur à plusieurs étages (25).
9. L'installation conformément à la revendication 8, où chaque étage de séparation (9, 21) comprend un échangeur de chaleur (11, 17) et un tambour de séparation (13, 19) pour séparer le CO₂ liquide du CO₂ gazeux.

10. L'installation conformément à la revendication 8, comprenant aussi au moins une machine de détente (31) et/ou un surchauffeur du dégagement gazeux (29).
11. L'installation conformément à la revendication 8, comprenant aussi un premier compresseur (1), un premier refroidisseur (5) et un sécheur (7).

5

Nombre de lignes : 400

10

15

20

25

30

35

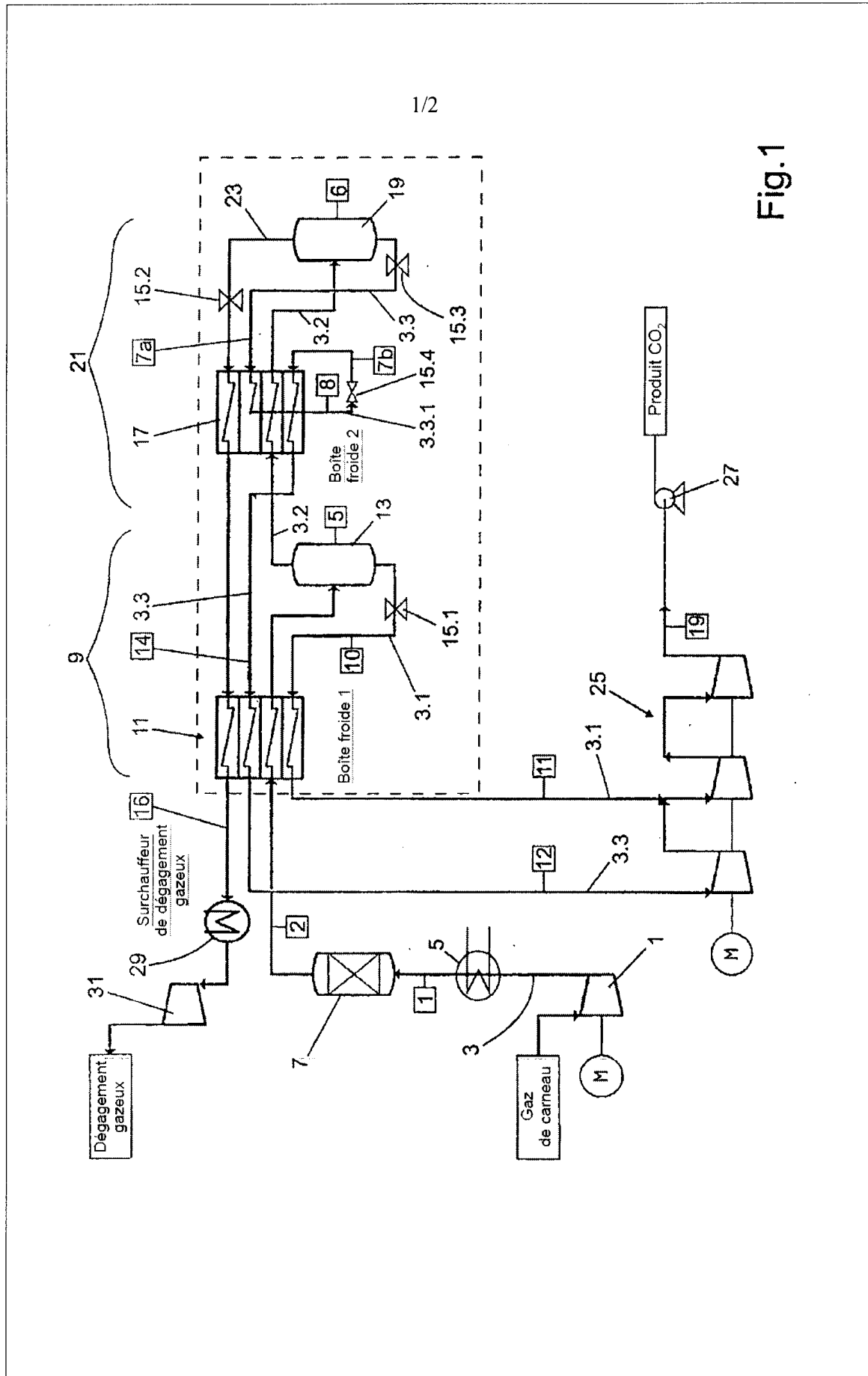


Fig.1

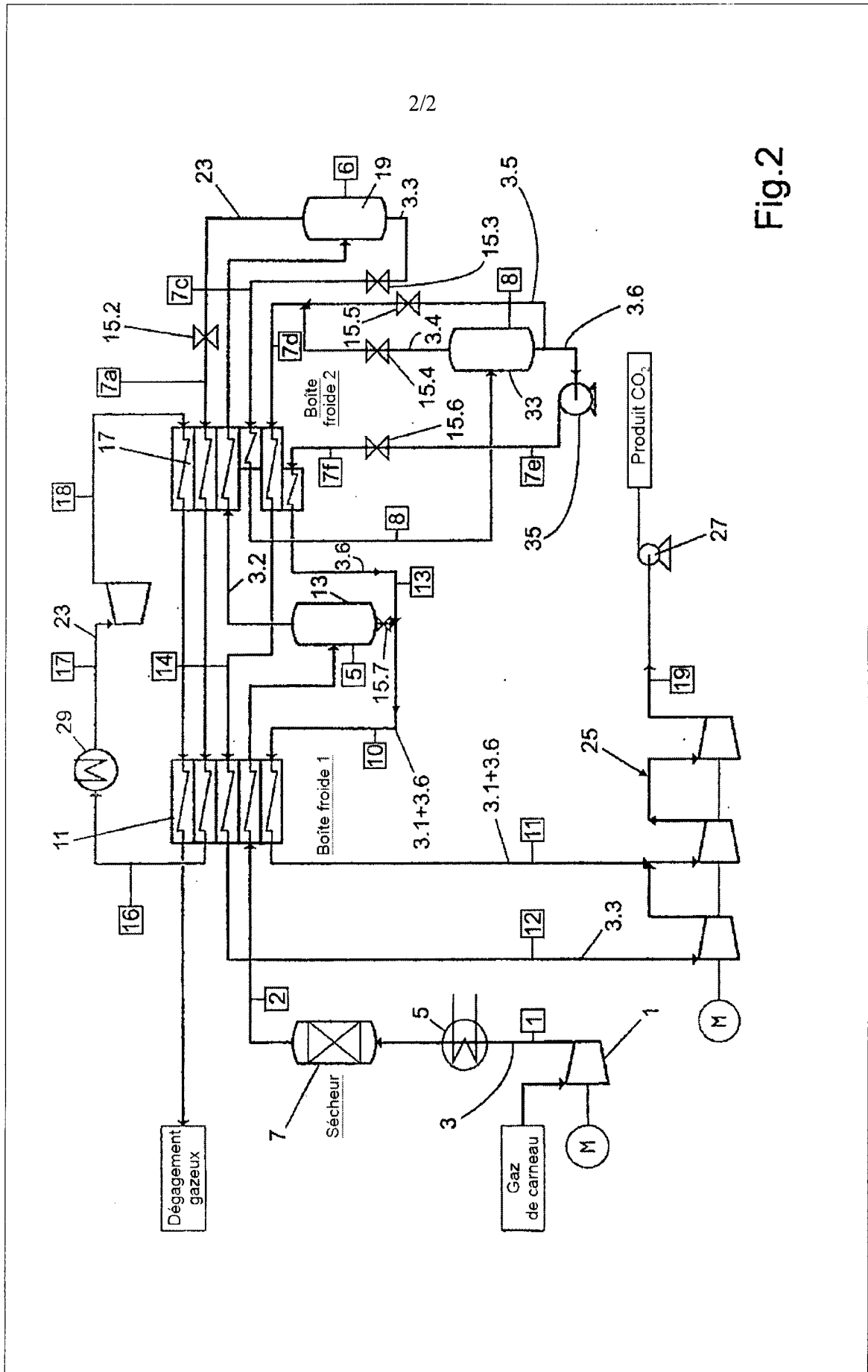


Fig.2