



CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **717 568 A2**

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(51) Int. Cl.: **B01D 53/62** (2006.01)
C01B 32/55 (2017.01)
F25J 5/00 (2006.01)
F25J 3/08 (2006.01)

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00771/20

(71) Requérant:
Ernest Ihringer, Av. Montchoisi 8
1006 Lausanne (CH)

(22) Date de dépôt: 25.06.2020

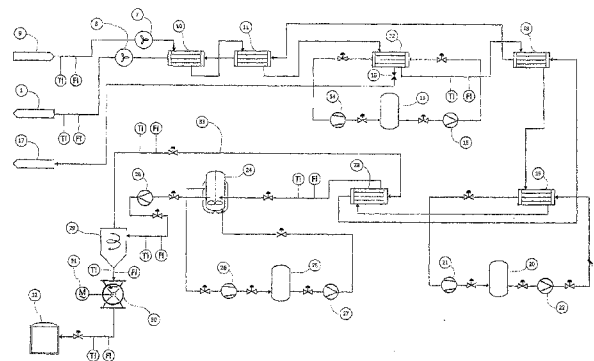
(43) Demande publiée: 30.12.2021

(72) Inventeur(s):
Ernest Ihringer, 1006 Lausanne (CH)

(54) **Procédé de séparation de CO₂ des fumées par cryogénie isobare à l'aide d'échangeurs thermiques.**

(57) L'invention concerne un procédé d'extraction de dioxyde de carbone CO₂ provenant d'un flux de fumée de gaz. Ledit procédé est basé sur la cryogénie isobare et utilise préférentiellement une série d'échangeurs de chaleur (10, 11, 12, 18, 19, 23, 24) concus et montés de façon à refroidir la fumée suivant plusieurs étapes. Le passage de la fumée, à travers des échangeurs montés en série, vise à refroidir le CO₂ jusqu'à sa phase de solidification pour le récupérer sous forme de particules de glace à l'aide d'un cyclone et d'une valve rotative.

Ce procédé se fait sans l'ajout d'additifs chimiques. Il permet une séparation rentable du CO₂; il permet de récupérer une partie de l'énergie de refroidissement en réutilisant le gaz refroidi comme fluide de refroidissement dans les échangeurs (10, 11, 18, 23) situés en amont, permet d'être ajusté pour extraire d'autres gaz à effet de serre offre la possibilité de modifier la taille et le nombre des échangeurs thermiques afin de l'adapter à une variation du volume et de la concentration des gaz.



Description

[0001] Les émissions des gaz à effet de serre (GES) font l'objet actuellement de plusieurs réglementations, et les usines polluantes sont contraintes de respecter des normes d'émission de GES de plus en plus strictes.

[0002] Divers procédés ont été développés pour éliminer le dioxyde de carbone des effluents comme la précombustion, la postcombustion et l'oxycombustion. Ces diverses technologies nécessitent des produits chimiques : des amines, des enzymes, de l'oxygène ou l'hydrogène ainsi que des dispositifs de séparation ultérieure. Ces technologies ont le désavantage d'être compliquées à installer, nécessitent des investissements importants, en plus qu'elles consomment beaucoup d'énergie, ce qui fait chuter leur rendement de plusieurs points.

[0003] Le procédé divulgué ici est complètement différent ; il est basé sur le refroidissement successif d'un flux de gaz à travers plusieurs échangeurs thermiques, jusqu'à convertir le dioxyde de carbone CO_2 , contenu dans la fumée, sous forme solide en vue de le récolter à la fin du processus sous forme de glace sèche.

[0004] Il y a deux méthodes d'obtenir le CO_2 sous forme de glace, la première est une compression et une détente, la seconde est un refroidissement isobare. C'est le procédé de refroidissement isobare qui est développé ci-après.

[0005] Comparativement aux autres méthodes, c'est le procédé qui permet le meilleur rendement. Si le système de compression est couramment utilisé, il est viable pour la production de glace de CO_2 lorsque l'on traite uniquement ce dernier. Lorsqu'il s'agit de séparation du CO_2 de fumées, il est onéreux de traiter toute la masse de gaz par compression alors que le CO_2 ne représente qu'une fraction de cette masse.

[0006] A l'échelle industrielle, il est compliqué d'extraire des composants nocifs pour l'environnement ayant des natures différentes à partir d'un même mélange de gaz. À la différence des autres procédés, celui-là permet avec la même installation, de récupérer différents éléments chimiques à des étages de refroidissement différents.

[0007] Cette méthode a le potentiel de fonctionner sans l'ajout de produits chimiques, permet de réduire 99% du CO_2 contenu dans la fumée et évite le coût d'installations compliquées.

[0008] En plus, la cryogénie isobare permet par le jeu des échangeurs de chaleur, avec un pincement optimum, qui correspond à l'écart minimal de température entre le fluide chaud et le fluide froid, de récupérer une partie de l'énergie fournie pour le refroidissement des gaz, alors que dans le cas de compression et de détente, l'énergie de compression n'est pas récupérable.

Description du procédé

[0009] L'objet de ce brevet est de proposer un nouveau procédé pour la séparation du dioxyde de carbone CO_2 à partir d'un flux de fumée de gaz (9) libéré, à titre non limitatif, par les industries polluantes telles que les centrales thermiques, les cimenteries, les raffineries ou les métallurgies. C'est un procédé basé une technique de cryogénéisation isobare. Ce procédé se base principalement sur l'utilisation d'échangeurs de chaleur montés en série et raccordés à des circuits de refroidissement.

[0010] Un procédé cryogénique isobare de capture du dioxyde de carbone à partir d'un flux de fumée de gaz (9) à travers une série d'échangeurs (10) (11) (12) (18) (19) (23) et (24) est décrit. Les détails d'un ou plusieurs modes de réalisation non limitatifs de l'invention, qui peuvent être englobés par les revendications, sont présentés dans la description et les schémas ci-dessous.

[0011] Le procédé, expliqué dans cette divulgation, traite d'un exemple précis (schéma de la figure 4), toutefois, d'autres modes de réalisation du procédé devraient être évidents pour les spécialistes de la technique après examen de la présente description. Par exemple, bien que cette description concerne en particulier l'élimination du dioxyde de carbone d'un flux de fumée, le procédé et les éléments de l'installation décrits ici peuvent être facilement adaptés pour éliminer d'autres composants polluants comme par exemple le dioxyde d'azote NO_2 . Une personne ayant l'habitude de lire les spécifications de ce domaine comprendrait quoi, le cas échéant, une modification devrait être faite afin de capturer les autres composants.

[0012] L'exemple de ce procédé concerne le traitement d'une fumée de gaz, à une échelle réduite. Ladite fumée contient 13% de CO_2 , 5% de vapeur d'eau H_2O , de l'acide sulfurique H_2SO_4 , de l'acide chlorhydrique HCl et d'autres éléments. La température d'entrée de cette fumée est de 50 °C, le débit est de 1Nm³/h, la masse volumique est de 1.3495 kg/m³, la chaleur spécifique est de 0,23355 kcal/kg et le volume horaire effectif à 50°C est de 1,14 m³/h .

[0013] Le refroidissement se fait sans contact entre la fumée et les fluides de refroidissement. Selon certain mode de réalisation, un tel échange de chaleur est réalisé dans des échangeurs de chaleur tubulaires à contre-courant et à simple passage, dans lequel la chaleur se transfère par convection en continu à travers une paroi de séparation métallique imperméable.

[0014] Le faisceau des tubes desdits échangeurs est caractérisé par une faible épaisseur de paroi. A l'intérieur de la calandre, des chicanes sont disposées de manières hélicoïdales et maintenues à une faible distance afin d'augmenter le coefficient d'échange thermique et de réduire le pincement au minimum, qui correspond à l'écart entre les températures des deux fluide à la sortie des échangeurs.

[0015] Pour obtenir la neige carbonique dans ce cas de figure (exemple de calcul figure 4), il faut une installation composée de 7 échangeurs de chaleur (10) (11) (12) (18) (19) (23) et (24), montés en série pour permettre d'abaisser la température de la fumée jusqu'à $- 80^{\circ}\text{C}$. La fumée passe successivement au travers de ces échangeurs en subissant un refroidissement graduel. Tout au long du processus, le refroidissement se fait à une pression avoisinant la pression atmosphérique. En se basant sur son diagramme de phase, le CO_2 passe de l'état gazeux à l'état solide, sous forme de neige carbonique, à la température de $- 78.5^{\circ}\text{C}$. Le refroidissement à cette température se fait dans un échangeur à double manteau (24) équipé de palettes rotatives et refroidi avec de l'azote liquide (25).

[0016] Selon des aspects illustrés ici, il est ajouté des systèmes de réfrigération successive pour la solidification du dioxyde de carbone CO_2 dans un flux de fumées. Ledit système comprenant au moins trois circuits de réfrigération contenant un réfrigérant sous forme liquide comme l'ammoniac, l'azote ou le CO_2 liquide. Lesdits circuits de réfrigération comprenant deux échangeurs réfrigérants tubulaires (12) et (19) et un échangeur en double manteau avec palettes rotatives (24) refroidi avec l'azote liquide. Au moins un compresseur cryogénique et une pompe sont connectés à chaque réservoir de réfrigérant pour comprimer et refouler le réfrigérant du refroidisseur de gaz de fumée.

[0017] Selon certains modes de réalisation, le procédé de cryogénie comprend au moins un échangeur (12) configuré pour refroidir au moins une partie de la fumée en utilisant l'ammoniac ou le CO_2 liquide stocké dans un réservoir (13) spécifique pour ces liquides de refroidissement. Un compresseur cryogénique comprime et refroidit le fluide de retour qui se réchauffe lors de son passage par l'échangeur (12). A la sortie du réservoir sous pression, le fluide de refroidissement est refoulé par la pompe (15) et subit une détente et une chute de température lors de son passage par l'échangeur (12). Selon les cas, cette chute de température peut causer une évaporation du liquide réfrigérateur, le compresseur cryogénique (14) permet de le comprimer et de le refroidir. Le fluide de refroidissement se condense, et il est reconduit au réservoir (13) à sa température et pression initiales.

[0018] Selon certains modes de réalisation, le système de traitement des gaz de fumée comprend en outre un échangeur condenseur (12) pour éliminer la vapeur d'eau du flux de gaz de fumée, disposé en amont de l'échangeur (18) en référence au sens d'écoulement du flux de fumées.

[0019] L'eau résiduelle dans le gaz de fumée riche en CO_2 peut provoquer la formation de glace dans les échangeurs de chaleur refroidis au-dessous de la température 0°C , ce qui entraîne éventuellement un problème de colmatage de ces échangeurs de chaleur. Selon ce mode de réalisation, l'eau est récupérée, sous forme de condensats liquides, en sortie de l'échangeur (12) via une vanne de purge (16) à une température de 2°C et en amont de l'échangeur (18).

[0020] Le gaz de combustion riche en dioxyde de carbone peut typiquement comprendre, en plus de la vapeur d'eau, des contaminants sous la forme, par exemple, de particules de poussière qui sont éliminées par des filtres (3).

[0021] Le gaz de combustion riche en dioxyde de carbone peut comprendre, en plus de la vapeur d'eau et des poussières, d'autres contaminants comme par exemple l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique. Selon ce mode de réalisation, la teneur en eau du gaz de fumée peut être éliminée à la sortie de l'échangeur (12). En fonction du pH et de la température dans cet échangeur-condenseur de fumées, la condensation des fumées peut également conduire à une réduction d'autres éléments tels que l'acide chlorhydrique HCL et l'acide sulfurique H_2SO_4 . Ces éléments sont capturés sous forme de condensats évacués par le conduit (17) via une vanne de purge (16).

[0022] Selon certains modes de réalisation, le procédé de cryogénie comprend au moins un échangeur (19) configuré pour refroidir au moins une partie de la fumée en utilisant du CO_2 liquide stocké dans un réservoir (20) spécifique pour ce liquide de refroidissement. Un compresseur cryogénique comprime et refroidit le fluide de retour qui se réchauffe lors de son passage par l'échangeur (19). A la sortie du réservoir sous pression, le fluide de refroidissement est refoulé par la pompe (22) et subit une détente et une chute de température lors de son passage par l'échangeur (19). Selon les cas, cette chute de température peut causer une évaporation du liquide réfrigérateur, le compresseur cryogénique (21) permet de le comprimer et de le refroidir. Le fluide de refroidissement se condense et il est reconduit au réservoir (20) à sa température et pression initiales.

[0023] Le cyclone (29) utilise l'action centrifuge comme principe de fonctionnement. Le gaz chargé des particules de neige carbonique, provenant de la sortie de l'échangeur à double manteau (24), pénètre dans le cyclone (29) par une entrée tangentielle (37). L'action centrifuge contraint les particules à tourner et à être précipitées contre la paroi du cylindre provoquant un tourbillon descendant de particules jusqu'à la sortie d'évacuation (38). Quant à la fumée dépourvue de CO_2 , celle-ci est évacuée à la cheminée centrale (39), située à l'intérieur du cyclone (29), créée par la différence de pression interne au cyclone (29).

[0024] Une valve rotative (30) installée à la sortie du cyclone (29) assure le maintien de l'étanchéité entre deux milieux de pressions différentes. Cette méthode de récolter le CO_2 à la sortie de l'installation permet un entretien facile et rapide.

[0025] La valve rotative (30) muni d'un rotor (35) avec palettes étanches (36) reçoit la neige carbonique et entraîne celle-ci dans un réservoir de glace de CO_2 (32). Le rotor (35) est entraîné par un moteur électrique (31) via un réducteur de vitesse de rotation. Ladite vitesse de rotation est déterminée selon le volume et le débit du CO_2 à récupérer.

[0026] La fumée évacuée par la cheminée (39) du cyclone (29) est reconduite, à travers le conduit (33), à l'entrée de l'échangeur (23). A une température de - 80°C, cette fumée, dépourvue de CO₂, sert à refroidir les échangeurs (23) (18) (11) et (10).

[0027] Selon un mode de réalisation privilégié, les échangeurs de chaleur (10), (11), (18) et (23) sont dimensionnés pour réutiliser le flux de fumée de gaz appauvri en CO₂, déjà refroidi en sortie du cyclone à -80°C environ comme réfrigérant. Le dit gaz est réacheminé à travers la canalisation (33) à l'entrée de l'échangeur (23) à une température de -80°C. Ledit gaz sort à une température de -28°C et peut être réacheminé à l'entrée de l'échangeur (18) pour ensuite être reconduit à l'entrée de l'échangeur (11) à -7°C, et sort dudit échangeur à une température de 11°C pour refroidir ensuite l'échangeur (10). A la sortie dudit échangeur, ce flux de gaz exempt de CO₂ peut être libéré dans l'atmosphère à travers le conduit (1).

[0028] Selon un mode de réalisation privilégié, l'augmentation de la puissance des échangeurs par l'ajout de modules d'échangeurs thermiques tubulaires en série, en parallèle ou en série/parallèle. À titre d'exemple, chaque module peut avoir des dimensions d'environ 2 à 3 mètres. Les modules peuvent être fabriqués en acier inoxydables.

[0029] Il faut comprendre que les modes de réalisation divulgués ici sont prévus à des fins d'illustration et ne doivent pas être considérés comme limitant de quelque manière que ce soit. A ce niveau, le procédé d'extraction de dioxyde de carbone divulgué ici peut être basé sur d'autres types d'échangeur comme des échangeurs à plaques ou d'autres types d'échangeurs tubulaires.

[0030] Selon un mode de réalisation privilégié, des capteurs de températures (TI) et de débits (FI) sont connectés à différents points de l'installation et permettent de superviser le fonctionnement du procédé. Des vannes sont également installées de façon à permettre l'isolation facile des composants pour la maintenance et le nettoyage (figure 2).

[0031] Des ventilateurs assurent la circulation des fumées; le ventilateur (6) assure la circulation de la fumée entre l'unité de dépoussiérage (3), contenant des filtres, et l'unité de désulfuration (4). Le ventilateur (7) assure la circulation de la fumée entre la sortie de l'unité de désulfuration (4) et l'entrée du procédé cryogénique (5). Le ventilateur (8) assure l'évacuation de la fumée dépourvue du CO₂ à la sortie du procédé cryogénique (5) vers l'atmosphère extérieure via le conduit (1) (cheminée).

[0032] Selon un autre mode de réalisation, ce procédé peut être modifié pour extraire d'autres types d'éléments de gaz à effet de serre, comme par exemple le dioxyde d'azote NO₂ qui se solidifie à la température de - 11,25 °C sous la pression normale de 1,013 bar. Cette séparation du NO₂ peut se faire au niveau de l'échangeur (18), qui peut être un échangeur tubulaire à surface raclée permettant d'évacuer les morceaux de glace du NO₂ à travers une conduite.

[0033] L'entrée de la fumée se fait à travers le conduit (9) séparé de la sortie (1) par un clapet anti-retour (2). Ledit clapet pourrait s'ouvrir pendant la phase transitoire du démarrage pour permettre au gaz de passer du conduit (1) vers le conduit (9) dans un sens unidirectionnel. Ce passage permet de compenser la diminution du volume du gaz contenu dans le circuit du procédé causée par le refroidissement.

[0034] Lors du démarrage du procédé, un régime transitoire prend place pendant quelques minutes, durant lequel le gaz de fumée se refroidit progressivement dans les échangeurs thermiques jusqu'à atteindre des températures stationnaires.

[0035] Le CO₂ récupéré sous forme de glace peut avantageusement être valorisé et utilisé dans un large éventail d'applications : combustible dans une pile à combustible pour générer l'électricité, fertilisant dans l'agriculture, additif dans l'industrie alimentaire, refroidisseur ou surgélateur, extincteur de feu, régulateur de pH, etc.

Brève description des dessins

[0036] Les caractéristiques décrites ci-dessus et d'autres caractéristiques sont illustrées par les figures suivantes et la description détaillée. D'autres objets et caractéristiques de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description et des revendications.

[0037] Des modes de réalisation sont décrits en référence aux figures, dans lesquelles des caractères de référence similaires désignent des éléments similaires, à titre d'exemple, et dans lesquels:

[0038] La **FIGURE 1** est un schéma synoptique qui illustre une vue générale d'un procédé permettant d'extraire le dioxyde de carbone d'un flux de fumée. Dans ce schéma, on peut distinguer les parties de la cheminée (9) et (1) avec le clapet anti-retour (2). Dans ce même schéma, (3) représente une unité de dépoussiérage composée de filtres, (4) représente une unité de désulfuration et (5) représente le procédé cryogénique objet de ce brevet. (6), (7) et (8) représentent des ventilateurs qui assurent la circulation des flux de gaz.

[0039] La **FIGURE 2** représente schématiquement un mode de réalisation du système de séparation de CO₂. C'est un schéma de tuyauterie et d'instrumentation P&ID du procédé d'extraction du CO₂. Ce schéma illustre le raccordement entre les différents échangeurs de chaleur pour le refroidissement successif avec d'autres circuits permettant le refroidissement de ces échangeurs. Le système illustré ici comprend, comme composants principaux, six échangeurs tubulaires et un échangeur cylindrique avec palette rotative. Dans ce système, quatre échangeurs sont refroidis avantageusement par le gaz de retour refroidi et trois échangeurs (12) (19) (24) refroidis par un apport de réfrigérants externe stockés dans des

réservoirs (13) (20) et (25). L'échangeur (24) est un échangeur cylindrique à palettes rotatives refroidi par azote liquide en double manteau.

[0040] Dans cette même figure, on peut distinguer des compresseurs cryogéniques (14) (21) (26) qui sont opérationnels pour comprimer et refroidir les fluides de refroidissement. On distingue également des pompes (15) (22) (27) pour assurer la circulation des fluides et des conduits pour acheminer les fluides entre les différents éléments de l'installation. Figure également un dispositif d'enlèvement (16) d'autres éléments chimiques.

[0041] La **FIGURE 3** représente le cyclone, qui est un séparateur centrifugeur, relié avec une valve rotative (30). C'est la partie du procédé qui permet de séparer la neige carbonique du flux du gaz refroidi. On peut distinguer sur cette figure l'entrée tangentielle (37), et au milieu se trouve la cheminée (39) permettant d'évacuer le gaz froid dépourvu du CO₂.

Revendications

1. Dans les revendications, le mot „comprenant“ est utilisé dans son sens inclusif et n'exclut pas d'autres éléments présents. L'article indéfini „a“ avant une fonctionnalité de réclamation n'exclut pas plus d'une des fonctionnalités présentes. Chacune des caractéristiques individuelles décrites ici peut être utilisée dans un ou plusieurs modes de réalisation et n'est, en vertu d'une description que l'on décrit ici, d'être considérée comme essentielle à tous les modes de réalisation tels que définis par les revendications.

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

1. Procédé d'extraction de gaz à effet de serre par cryogénie isobare à partir d'un flux gazeux comprenant du dioxyde de carbone CO₂ en une proportion initiale, de la vapeur d'eau, un ou plusieurs composés acides, et un ou plusieurs autres gaz nocifs tels que le dioxyde de soufre ou le dioxyde d'azote.

2. Procédé d'extraction du dioxyde de carbone CO₂ basé sur une cryogénie isobare utilisant un système d'échangeurs de chaleur en étage pour le refroidissement successif d'un flux de fumées de gaz contenant du dioxyde de carbone CO₂, ledit système comprenant des circuits de réfrigération.

3. Procédé selon la revendication 2 caractérisé en ce qu'il permet la récupération d'un flux gazeux froid exempt de CO₂ ou contenant une proportion finale très inférieure de CO₂ à la proportion initiale de CO₂ dans le flux de gaz chaud à traiter.

4. Procédé selon la revendication 3 caractérisé en ce que le refroidissement du flux gazeux peut se faire jusqu'à une température d'environ - 80°C pour l'élimination du CO₂ et caractérisé en ce que le nombre et la taille des échangeurs thermiques peuvent être modifiés pour atteindre d'autres températures permettant de solidifier d'autres éléments chimiques polluants.

5. Procédé de refroidissement de gaz selon les revendications 1, 2, 3 et 4 permettant de récupérer une partie de l'énergie de refroidissement en utilisant le gaz refroidie récupérée à la fin du procédé comme fluide de refroidissement dans la série des échangeurs situés en amont en se référant au sens d'écoulement du gaz chaud.

6. Procédé d'extraction du CO₂ d'un flux de fumée de gaz selon les revendications 1, 2, 3 et 5, basé sur un ensemble d'échangeurs thermiques montés en série, un cyclone et une valve rotative pour la collecte de CO₂ sous forme de neige carbonique. Ledit procédé comprenant plusieurs étapes : **a)** passage de la fumée dans un ensemble d'échangeurs thermiques, connectés en série, dans lesquels un ou plusieurs échangeurs sont retro-alimenté par le gaz froid issu de la sortie du procédé. **b)** des refroidissements intermédiaires avec un apport de réfrigérants externe comme l'ammoniac, l'azote ou le CO₂ liquide, réfrigérants externes refroidis et condensés dans des circuits fermés par des compresseurs cryogéniques raccordés aux échangeurs thermiques, **c)** séparation d'autres éléments comme l'eau et des acides ramenés dans des condensats. **d)** séparation à l'aide d'un cyclone et d'une valve rotative de la neige carbonique du flux du gaz. **e)** séparation d'autres éléments de gaz à effet de serre qui se solidifie d'une façon identique à celle du dioxyde de carbone, comme le dioxyde d'azote NO₂ par exemple, extraits à l'aide d'échangeur à surface raclée ou à l'aide de cyclone, **f)** Réinjection du gaz froid dans les échangeurs utilisés à l'étape a).

7. Procédé selon la revendication 6 caractérisée en ce qu'il permet la récupération d'un flux gazeux exempt de CO₂ ou contenant une proportion finale très inférieure de CO₂ à la proportion initiale de CO₂ dans le flux à traiter, caractérisée en ce qu'il comprend, à l'étape **c)**, une étape de condensation du flux pour en éliminer au moins une partie de la vapeur d'eau qu'il contient, et au moins une partie des autres composantes condensables à cette température dans un échangeur thermique refroidi par un fluide.

8. Procédé selon l'une les revendications précédentes, caractérisé en ce que le refroidissement d'au moins un échangeur est assuré avec le gaz froid du retour dans lequel le CO₂ est déjà extrait et qui est acheminé à travers des conduits pour le libérer dans l'atmosphère.

9. Procédé cryogénique isobare pour la solidification du dioxyde de carbone (CO₂) dans un flux de fumées selon les revendications 2, 5 et 6. Ledit procédé comprenant des circuits de réfrigération. Lesdits circuits de réfrigération comprennent des compresseurs de réfrigérants (14) (21) (26). Un premier étage d'échangeurs thermiques (10), configuré pour refroidir le gaz contenant du CO₂, est refroidi avec le gaz froid du retour. Un second étage d'échangeurs thermiques (11), configuré pour refroidir le gaz contenant du CO₂, est refroidi avec le gaz froid du retour. Un troisième étage d'échangeurs thermiques (12), configuré pour refroidir le gaz contenant du CO₂, est refroidi en circuit fermé préférentiellement avec de l'ammoniac ou du CO₂ liquides. Lesdits échangeurs sont connectés à des vannes de

CH 717 568 A2

purge afin d'évacuer les condensats. Un quatrième étage d'échangeurs thermiques (18), configuré pour refroidir le gaz contenant du CO₂, est refroidi avec le gaz froid de retour. Un cinquième étage d'échangeurs thermiques (19), configuré pour refroidir le gaz contenant du CO₂, est refroidi en circuit fermé préférablement avec du CO₂ liquide. Un sixième étage d'échangeurs thermiques (23), configuré pour refroidir le gaz contenant du CO₂, est refroidi avec le gaz froid de retour. Un septième et dernier échangeur thermique en double manteau et à palettes rotatives permettant de solidifier le CO₂ contenu dans le gaz. Ledit échangeur est refroidi à la température de condensation solide du CO₂. Ledit échangeur est préférablement refroidi avec l'azote liquide.

10. Procédé d'extraction du CO₂ d'un flux de gaz selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, comprenant en outre un cyclone (29) utilisé comme séparateur centrifugeur. Le gaz chargé de neige carbonique pénètre dans le cyclone par une entrée tangentielle (37). L'action centrifuge contraint la neige carbonique à tourner et à être précipitées contre la paroi du cylindre provoquant un tourbillon descendant de particules jusqu'à la sortie d'évacuation (38). La fumée froide dépourvue de CO₂ est évacuée à la cheminée centrale (39), située à l'intérieur du cyclone (29), créée par la différence de pression interne au cyclone (29).

11. Procédé d'extraction du CO₂ d'un flux de gaz selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, comprenant en outre une valve rotative (30) à vitesse variable, installée à la sortie du cyclone (29). Ladite valve rotative assure le maintien de l'étanchéité entre deux milieux différents et permet de modifier le débit de précipitation de la neige carbonique dans un réservoir en ajustant sa vitesse de rotation.

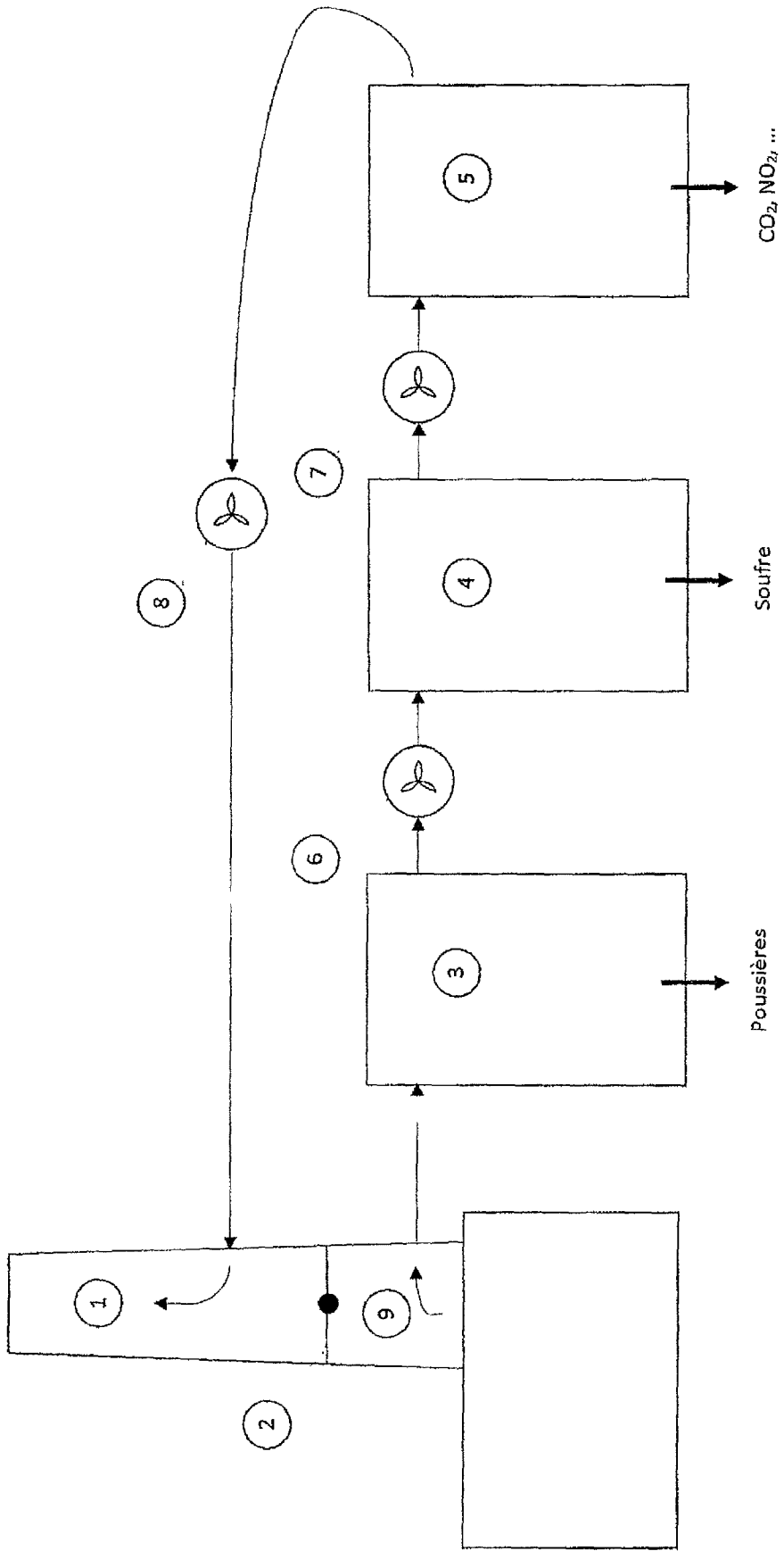


Figure 1

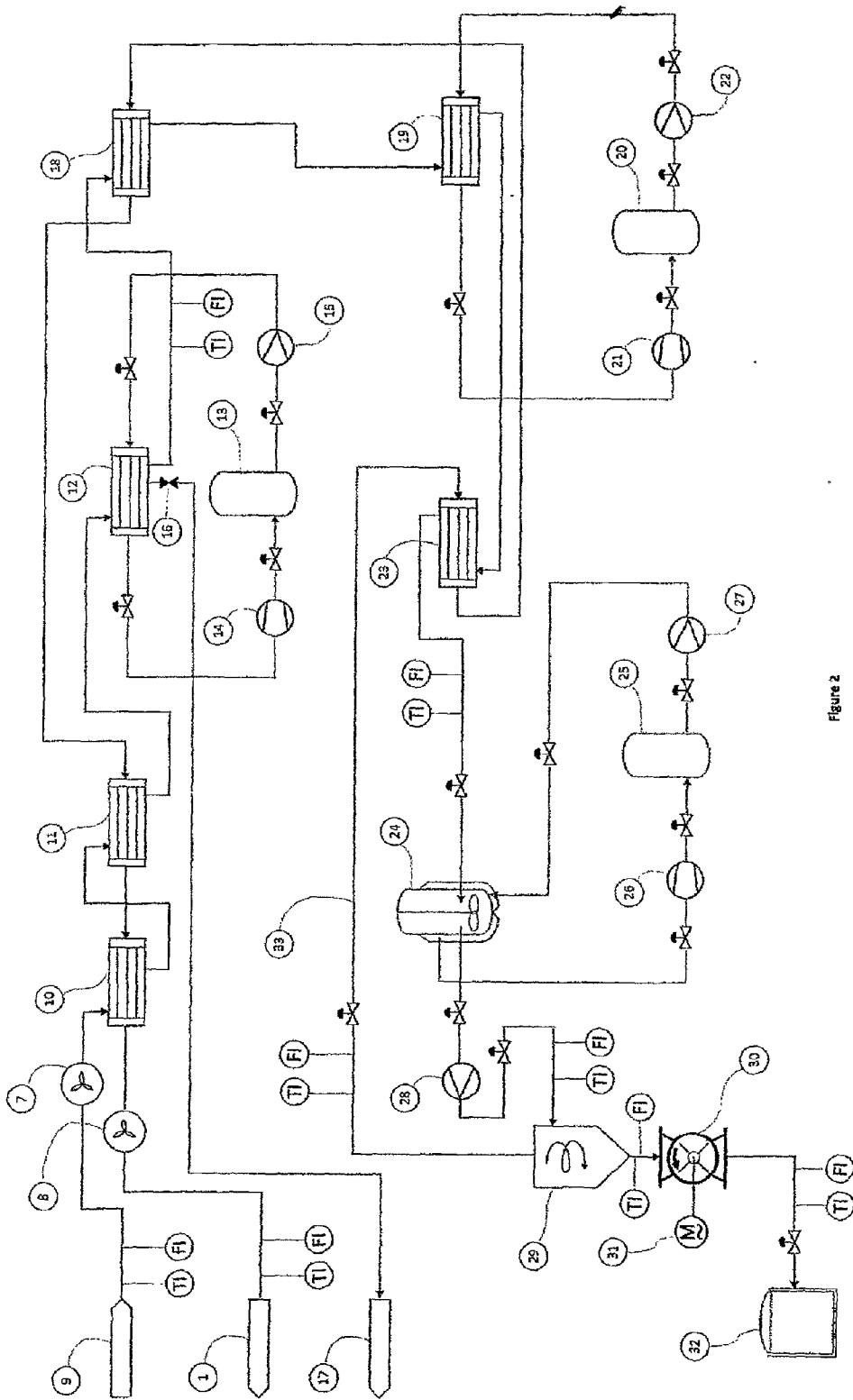


Figure 2

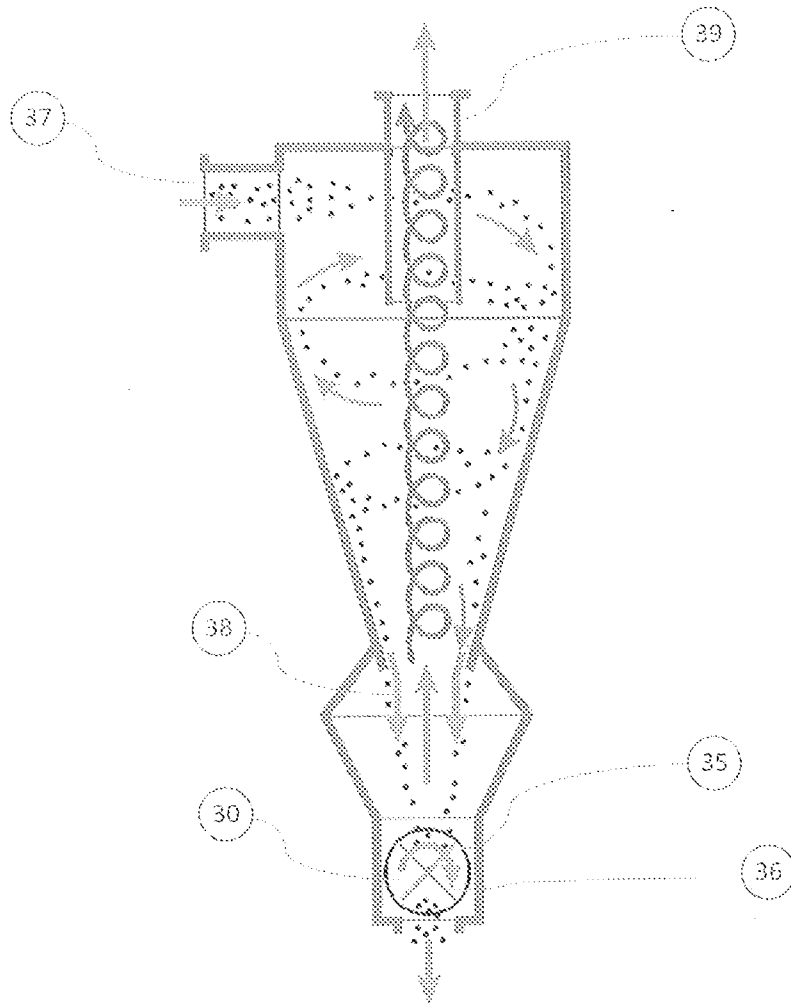


Figure 3