



(12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 41070 A1** (51) Cl. internationale : **B01D 53/00; F25J 3/08; F25J 3/00**
- (43) Date de publication : **31.05.2019**

-
- (21) N° Dépôt : **41070**
- (22) Date de Dépôt : **30.08.2017**
- (71) Demandeur(s) : **UNIVERSITE INTERNATIONALE DE RABAT UIR, PARC TECHNOPOLIS RABAT-SHORE, CAMPUS UNIVERSITAIRE UIR, ROCADE RABAT-SALE, 11100 11100, Sala El Jadida (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **Benabdellah Abdellatif ; Laghmich Tarik ; Seguem Marouan ; El Maakoul Anas**
- (74) Mandataire : **BOUYA MOHSINE**

-
- (54) Titre : **Procédé de séparation de CO2 des fumées par cryogénie isobare à l'aide d'échangeurs thermiques**
- (57) Abrégé : Ce brevet décrit un nouveau 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 une série d'échangeurs de chaleur, conçus 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. Ledit procédé est illustré avec un exemple réel. Les échangeurs thermiques utilisés peuvent être de type tubulaire à contre-courant, avec un pincement minimum. Le procédé décrit, selon les divers aspects cités ciaprès, 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 situés en amont. Procédé évolutif; caractérisé en ce qu'il permet d'être ajusté pour extraire d'autres gaz à effet de serre. Procédé évolutif; caractérisé en ce qu'il 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.

Mémoire descriptif du brevet d'invention intitulé**Procédé de séparation de CO₂ des fumées par cryogénie isobare à l'aide d'échangeurs thermiques****Abrégé de l'invention**

- [1] Ce brevet décrit un nouveau 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 une série d'échangeurs de chaleur, conçus 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. Ledit procédé est illustré avec un exemple réel.
- [2] Les échangeurs thermiques utilisés peuvent être de type tubulaire à contre-courant, avec un pincement minimum. Le procédé décrit, selon les divers aspects cités ci-après, 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 situés en amont. Procédé évolutif; caractérisé en ce qu'il permet d'être ajusté pour extraire d'autres gaz à effet de serre. Procédé évolutif; caractérisé en ce qu'il 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.

Mémoire descriptif du brevet d'invention intitulé

Procédé de séparation de CO₂ des fumées par cryogénie isobare à l'aide d'échangeurs thermiques

Contexte de l'invention

- [1] 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.
- [2] Divers procédés ont été développés pour éliminer le dioxyde de carbone des affluents 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.
- [3] 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 CO₂, contenu dans la fumée, sous forme solide en vue de le récolter à la fin du processus sous forme de glace sèche.
- [4] Il y a deux méthodes d'obtenir le CO₂ 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.
- [5] 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 CO₂ lorsque l'on traite uniquement ce dernier. Lorsqu'il s'agit de séparation du CO₂ de fumées, il est onéreux de traiter toute la masse de gaz par compression alors que le CO₂ ne représente qu'une fraction de cette masse.
- [6] 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.

- [7] Cette méthode a le potentiel de fonctionner sans l'ajout de produits chimiques, permet de réduire 99% du CO₂ contenu dans la fumée et évite le coût d'installations compliquées.
- [8] 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

- [9] L'objet de ce brevet est de proposer un nouveau procédé pour la séparation du dioxyde de carbone CO₂ 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.
- [10] 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.
- [11] 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 NO₂. 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.

- [12] L'exemple de ce procédé concerne le traitement d'une fumée de gaz, à une échelle réduite. Ladite fumée contient 13% de CO₂, 5% de vapeur d'eau H₂O, de l'acide sulfurique H₂SO₄, 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 (schéma de la figure 4).
- [13] 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.
- [14] 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 manière 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 fluides à la sortie des échangeurs.
- [15] 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 °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 CO₂ passe de l'état gazeux à l'état solide, sous forme de neige carbonique, à la température de - 78.5°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).
- [16] Selon des aspects illustrés ici, il est ajouté des systèmes de réfrigération successive pour la solidification du dioxyde de carbone CO₂ 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 CO₂ 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.

- [17] 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 CO₂ 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.
- [18] 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.
- [19] L'eau résiduelle dans le gaz de fumée riche en CO₂ 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).
- [20] 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).
- [21] 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 H₂SO₄. Ces éléments sont capturés sous forme de condensats évacués par le conduit (17) via une vanne de purge (16).

- [22] 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 CO₂ 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 réfrigérant, 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.
- [23] 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 CO₂, 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).
- [24] 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 CO₂ à la sortie de l'installation permet un entretien facile et rapide.
- [25] 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 CO₂ (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 CO₂ à récupérer.

- [26] 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 CO_2 , sert à refroidir les échangeurs (23) (18) (11) et (10).
- [27] 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 CO_2 , 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 CO_2 peut être libéré dans l'atmosphère à travers le conduit (1).
- [28] 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 inoxydable.
- [29] 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.
- [30] 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).
- [31] 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 CO_2 à la sortie du procédé cryogénique (5) vers l'atmosphère extérieur via le conduit (1) (cheminée).

- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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

- [36] 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.
- [37] 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:
- [38] 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.

- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] La **FIGURE 4** est un diagramme qui représente un résumé d'un exemple de calcul du procédé de séparation du CO₂. Ce diagramme donne le calcul des températures d'entrée et de sortie et les puissances de chaque échangeur en fonction des caractéristiques et de la composition de la fumée. Dans ce diagramme, les échangeurs sont représentés sous forme de blocs dans lesquels figures quelques détails de calculs pour les puissances des échangeurs et les températures des flux entrants et sortants en fonction de la composition initiale de la fumée et des capacités thermiques massiques. La pression reste toujours aux environs de 1 atm. Des flèches donnent le sens de circulation des flux de gaz.

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.
- [2] Les réalisations de l'invention, au sujet desquelles un droit exclusif de propriété ou de privilège est revendiqué, sont définies comme il suit :
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.

- [8] **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).
- [9] **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.
- [10] **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.
- [11] **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 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.

- [12] **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).
- [13] **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.

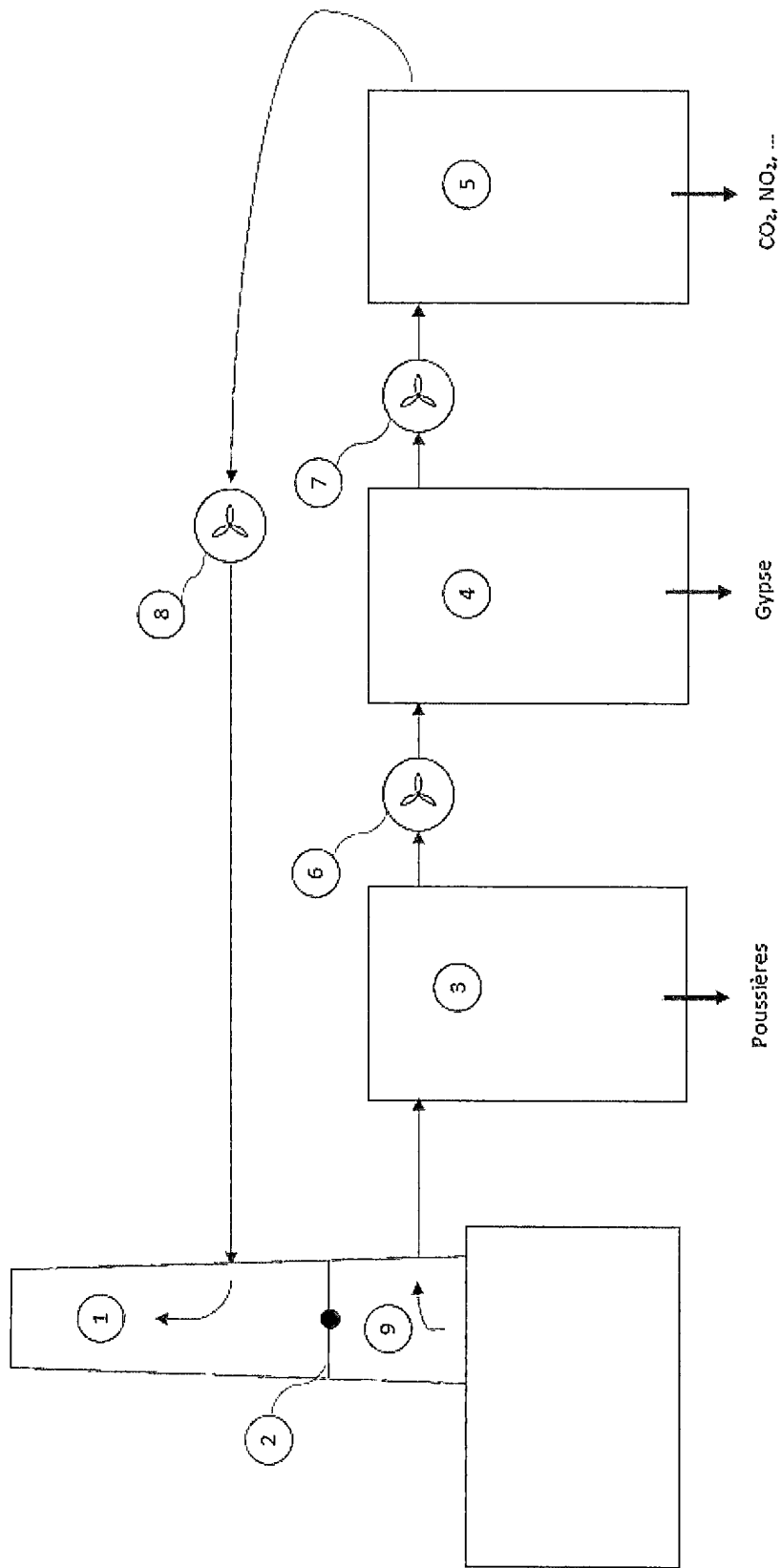


Figure 1

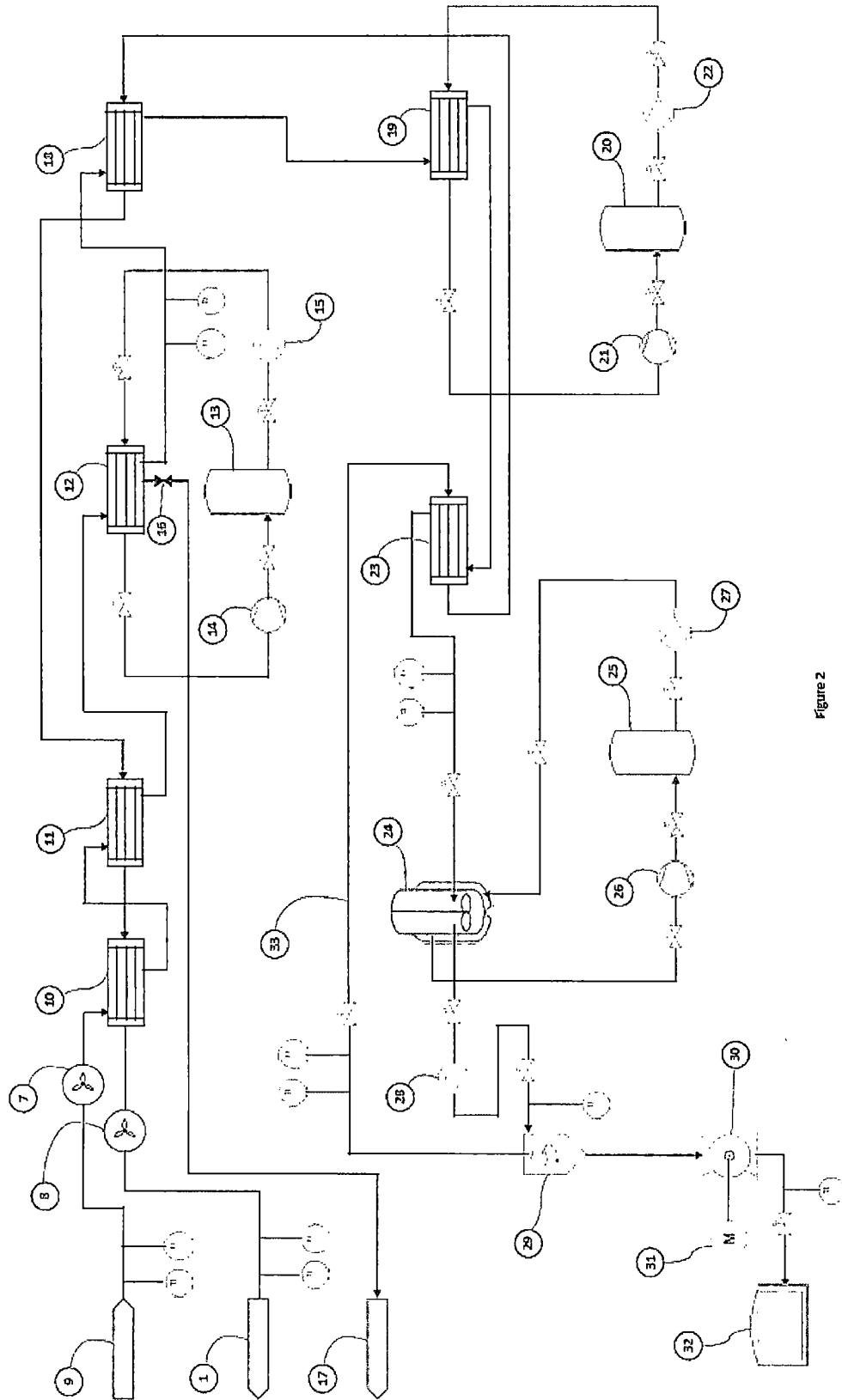


Figure 2

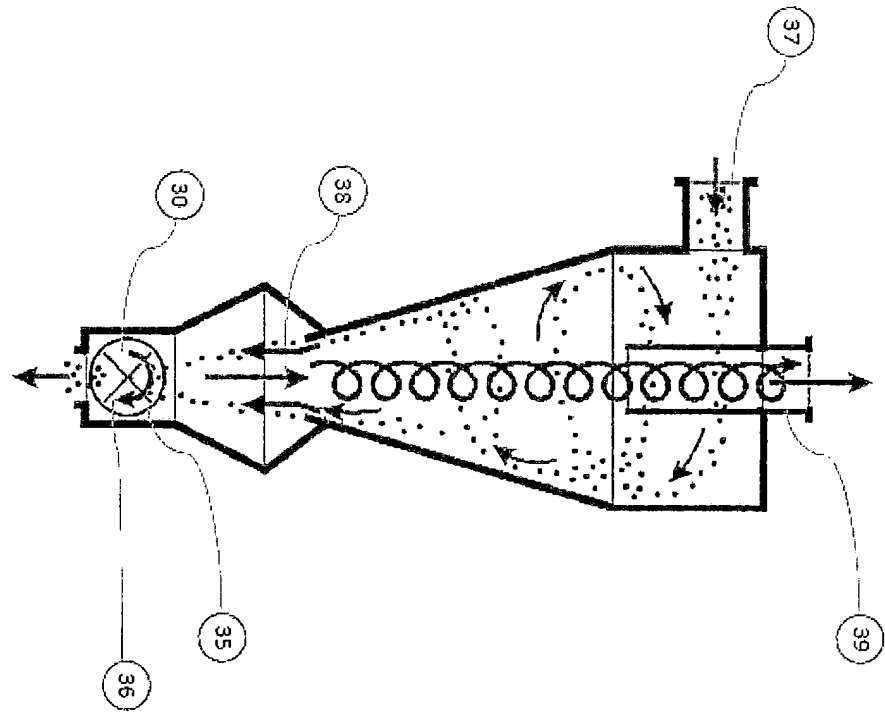
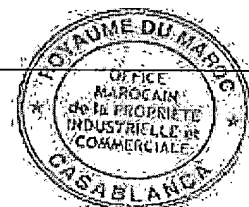


Figure 3



**RAPPORT DE RECHERCHE
AVEC OPINION SUR LA BREVETABILITE**
(Conformément aux articles 43 et 43.2 de la loi 17-97 relative à la
protection de la propriété industrielle telle que modifiée et
complétée par la loi 23-13)

Renseignements relatifs à la demande	
N° de la demande : 41070	Date de dépôt : 30/08/2017
Déposant : UNIVERSITE INTERNATIONALE DE RABAT UIR	
Intitulé de l'invention : Procédé de séparation de CO2 des fumées par cryogénie isobare à l'aide d'échangeurs thermiques	
Le présent document est le rapport de recherche avec opinion sur la brevetabilité établi par l'OMPIC conformément aux articles 43 et 43.2, et notifié au déposant conformément à l'article 43.1 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.	
Les documents brevets cités dans le rapport de recherche sont téléchargeables à partir du site http://worldwide.espacenet.com , et les documents non brevets sont joints au présent document, s'il y en a lieu.	
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :	
Partie 1 : Considérations générales	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport <input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité <input type="checkbox"/> Cadre 3 : Titre et/ou Abrégé tel qu'ils sont définitivement arrêtés	
Partie 2 : Rapport de recherche	
Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité	
<input type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de clarté <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications dont aucune recherche significative n'a pu être effectuée <input type="checkbox"/> Cadre 7 : Défaut d'unité d'invention	
Examineur: A EL KADIRI	Date d'établissement du rapport : 11/12/2017
Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00	



Partie 1 : Considérations générales

Cadre 1 : base du présent rapport

Les pièces suivantes de la demande servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Description
8 Pages
- Revendications
11
- Planches de dessin
3 Pages

Partie 2 : Rapport de recherche

Classement de l'objet de la demande :

CIB : F25J3/00, F25J3/08, B01D53/00

CPC :

Bases de données électroniques consultées au cours de la recherche :

EPOQUE, Orbit

Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	N° des revendications visées
X	US2012180657 A1, AIR LIQUIDE, 2012-07-19	1-11
X	US2015354888 A1, NANJING RECLAIMER ENVIRONMENTAL TEKNIK CO LTD, 2015-12-10	1-3
A		4-11
X	US2015362250 A1, NANJING RECLAIMER ENVIRONMENTAL TEKNIK CO LTD, 2015-12-17	1-3
A		4-11
X	US2015369534 A1, NANJING RECLAIMER ENVIRONMENTAL TEKNIK CO LTD, 2015-12-24	1-3
A		4-11

***Catégories spéciales de documents cités :**

-« X » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

-« Y » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

-« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

-« P » documents intercalaires ; Les documents dont la date de publication est située entre la date de dépôt de la demande examinée et la date de priorité revendiquée ou la priorité la plus ancienne s'il y en a plusieurs

-« E » Éventuelles demandes de brevet interférentes. Tout document de brevet ayant une date de dépôt ou de priorité antérieure à la date de dépôt de la demande faisant l'objet de la recherche (et non à la date de priorité), mais publié postérieurement à cette date et dont le contenu constituerait un état de la technique pertinent pour la nouveauté

Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité*Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle*

Nouveauté (N)	Revendications aucune Revendications 1-11	Oui Non
Activité inventive (AI)	Revendications aucune Revendications 1-11	Oui Non
Possibilité d'application Industrielle (PAI)	Revendications 1-11 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants. Les numéros d'ordre qui leur sont attribués ci-après seront utilisés dans toute la suite de la procédure

D1 : US2012180657 A1
 D2 : US2015354888 A1
 D3 : US2015362250 A1
 D4 : US2015369534 A1

1. Nouveauté (N) & Activité inventive (AI):

Le document D1 divulgue un procédé de séparation par cryogénie isobare d'un flux gazeux dans le but de solidifier le dioxyde de carbone.

En outre le document D1 divulgue (revendication 1, les références s'applique au document D1) un procédé de production d'au moins un gaz pauvre en CO₂ (44) et d'un ou plusieurs un fluides riches en CO₂ (66, 68, 70) à partir d'un fluide à traiter (40) contenant du CO₂ et au moins un composé plus volatil que le CO₂, mettant en œuvre au moins les étapes suivantes : a) refroidissement (109, 112) dudit fluide à traiter (40) ; et b) séparation (110) dudit fluide (42) refroidi à l'étape a) en ledit gaz pauvre en CO₂ (44) et un ou plusieurs fluides riches en CO₂ (66, 68, 70) ; caractérisé en ce qu'au moins une partie du refroidissement opéré à ladite étape a) est réalisé par échange de chaleur avec au moins une fraction dudit gaz pauvre en CO₂ (44), dans un ou plusieurs échangeurs régénératifs

Ainsi, l'objet des revendications 1-11 manque de nouveauté conformément à l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

L'objet des revendications 1-11 n'implique pas une activité inventive conformément à l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

2. Possibilité d'application industrielle (PAI) :

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible.