

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①⑪ N° de publication :

3 109 986

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

20 04428

⑤① Int Cl⁸ : **F 25 B 9/14** (2019.12)

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT, SYSTÈME DE CLIMATISATION, ENSEMBLE MOTEUR ET PROCÉDÉS ASSOCIÉS.

②② Date de dépôt : 05.05.20.

③⑦ Priorité :

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

☐ Demande(s) d'extension : Polynésie-Fr

⑦① Demandeur(s) : *EOSGEN-TECHNOLOGIES Société par actions simplifiée* — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 12.11.21 Bulletin 21/45.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 06.05.22 Bulletin 22/18.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : VERNET Jean-Philippe Georges.

⑦③ Titulaire(s) : *EOSGEN-TECHNOLOGIES Société par actions simplifiée*.

⑦④ Mandataire(s) : Cabinet DIDIER MARTIN.

FR 3 109 986 - B1



Description

Titre de l'invention : SYSTEME DE REFROIDISSEMENT, SYSTEME DE CLIMATISATION, ENSEMBLE MOTEUR ET PROCEDES ASSOCIES

- [0001] La présente invention concerne le domaine général du refroidissement d'un composant initialement gazeux jusqu'à liquéfaction, plus précisément à une température très basse et en particulier cryogénique.
- [0002] L'invention concerne ainsi un système de refroidissement.
- [0003] L'invention concerne en outre un système de climatisation, un ensemble moteur, un procédé d'adaptation, un procédé de refroidissement et un procédé d'oxycombustion associés.
- [0004] Traditionnellement, l'utilisation régulée, le transport ou le stockage d'un composant gazeux nécessite de réaliser une opération de concentration de ce composant gazeux, par exemple au moyen d'un compresseur. L'opération de concentration peut également être réalisée par liquéfaction du composant initialement gazeux.
- [0005] Pour réaliser la liquéfaction d'un composant gazeux, il est ainsi connu de mettre en œuvre des systèmes de refroidissement et des systèmes de compression.
- [0006] Ces systèmes dédiés à la liquéfaction d'un gaz, bien que donnant globalement satisfaction dans leur utilisation, n'en présentent pas moins certains inconvénients.
- [0007] Ainsi, les systèmes de refroidissement connus dédiés à la liquéfaction d'un gaz présentent un coût énergétique important, un rendement au mieux médiocre, une mise en œuvre complexe et un dimensionnement conséquent en regard de la quantité de gaz liquéfié relativement faible produite par unité de temps.
- [0008] Les systèmes de compression connus, en particulier ceux dédiés à la liquéfaction d'un gaz, présentent également un coût énergétique important, d'autant qu'ils présentent en outre des pertes caloriques conséquentes du fait même de la compression du gaz et des frottements inhérents au mouvement de leur organe de compression, par exemple un piston dans le cas d'un compresseur à pistons. Une telle configuration limite en pratique le taux de compression de chaque étage en particulier lorsqu'il est nécessaire d'atteindre de hautes pressions. Les compresseurs peuvent ainsi nécessiter d'être refroidis à chacun de leurs étages, ce qui consomme encore plus d'énergie. Enfin, les systèmes de compression connus présentent des risques de sécurité importants liés au stockage de gaz comprimé, et ne sont généralement pas adaptés, seuls, à la liquéfaction de certains gaz, notamment à la liquéfaction des composants gazeux de l'air.
- [0009] Ainsi, même si des systèmes de liquéfaction de gaz sont connus et réalisables en tant

que tels, les inconvénients mentionnés ci-avant démontrent qu'ils ne sont pas adaptés à une mise en œuvre simple, efficiente et en toute sécurité de la concentration d'un gaz et à plus forte raison de la liquéfaction d'un gaz.

- [0010] En définitive, les systèmes connus de liquéfaction de gaz, notamment du type à liquéfaction par refroidissement ou compression, sont particulièrement coûteux, énergivores et encombrants, et présentent un risque élevé en matière de sécurité des biens et des personnes. Ils sont difficilement utilisables en dehors d'une installation industrielle peu modulable et relativement peu efficiente.
- [0011] Les objets assignés à la présente invention visent en conséquence à remédier aux différents inconvénients énumérés précédemment et à proposer un nouveau système de refroidissement qui, tout en étant particulièrement efficient, est particulièrement simple à mettre en œuvre, peu coûteux et peu encombrant.
- [0012] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau système de refroidissement dont le fonctionnement est particulièrement facile à adapter à différentes utilisations.
- [0013] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau système de refroidissement de conception robuste dont la mise en œuvre est facile et réalisée avec une excellente efficacité énergétique.
- [0014] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau système de refroidissement à la fois fiable et compétitif sur le plan économique.
- [0015] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau système de refroidissement dont le coût d'entretien est réduit.
- [0016] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau système de refroidissement qui soit particulièrement résistant à l'usure et dont l'efficacité est sensiblement constante au cours du temps et ce même s'il est soumis à des utilisations prolongées et/ou successives.
- [0017] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau système de refroidissement présentant un rendement optimisé, permettant ainsi le recours à un dimensionnement au plus juste selon son utilisation.
- [0018] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau système de refroidissement particulièrement efficace, peu encombrant et qui peut être facilement adapté à une utilisation selon différentes échelles.
- [0019] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau système de refroidissement particulièrement utile dans le domaine des véhicules automobiles, notamment en ce qui concerne l'efficacité énergétique et la dépollution.
- [0020] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau système de refroidissement qui fonctionne dans conditions de sécurité optimales.
- [0021] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau système de climatisation présentant en particulier une grande efficacité énergétique ainsi qu'une excellente

capacité de climatisation.

- [0022] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouvel ensemble moteur particulièrement peu polluant, facile à réaliser et présentant une grande efficacité énergétique.
- [0023] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau procédé d'adaptation d'un moteur à combustion interne facile à mettre en œuvre permettant d'obtenir une amélioration des performances globales du moteur, notamment dans les domaines de l'efficacité énergétique et de la limitation des rejets polluants.
- [0024] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau procédé de refroidissement qui soit particulièrement peu coûteux en termes d'énergie, facile à mettre en œuvre et à adapter à un grand nombre d'applications.
- [0025] Un autre objet de l'invention vise à proposer un nouveau procédé d'oxycombustion particulièrement efficace, maîtrisé, très peu polluant, et présentant un excellent rendement énergétique global.
- [0026] Les objets assignés à l'invention sont atteints à l'aide d'un système de refroidissement comprenant au moins :
- une pompe à chaleur Stirling conçue pour refroidir un gaz d'entrée jusqu'à une température cryogénique afin de former un liquide cryogénique,
 - un moteur électrique primaire, destiné à faire fonctionner ladite pompe à chaleur Stirling,
 - une pompe primaire destinée à faire circuler ledit liquide cryogénique sous pression, et
 - un moyen de refroidissement, destiné à refroidir ledit moteur électrique primaire à l'aide du liquide cryogénique issu de ladite pompe primaire.
- [0027] Les objets assignés à l'invention sont également atteints à l'aide d'un système de climatisation haute puissance, caractérisé en ce qu'il comprend le système de refroidissement décrit ci-avant et ci-après, l'énergie de refroidissement du système de climatisation haute puissance étant fournie via l'évaporateur.
- [0028] Les objets assignés à l'invention sont également atteints à l'aide d'un ensemble moteur caractérisé en ce qu'il comprend au moins:
- le système de refroidissement tel que décrit précédemment et ci-après, ledit système de refroidissement étant conçu pour produire du dioxygène liquéfié, et
 - un moteur à combustion interne, en aval dudit système de refroidissement et comprenant une chambre de combustion,
- le système de refroidissement étant relié audit moteur à combustion interne de façon à pouvoir injecter dans ladite chambre de combustion ledit dioxygène liquéfié.
- [0029] Les objets assignés à l'invention sont également atteints à l'aide d'un procédé d'adaptation d'un moteur à combustion interne comprenant au moins une tubulure d'admission et une chambre de combustion, ledit procédé d'adaptation étant ca-

ractérisé en ce qu'il comprend au moins :

- une étape de fermeture ou d'enlèvement de ladite tubulure d'admission du moteur,
- une étape d'installation dans laquelle le système de refroidissement tel que décrit ci-avant et ci-après est relié audit moteur à combustion interne, au niveau de ladite tubulure d'admission fermée ou enlevée et donc en amont de ladite chambre de combustion, de façon à pouvoir injecter dans cette dernière du dioxygène liquéfié produit par ledit système de refroidissement.

[0030] Les objets assignés à l'invention sont également atteints à l'aide d'un procédé de refroidissement comprenant au moins :

- une étape de refroidissement d'un gaz d'entrée à l'aide d'au moins une pompe à chaleur Stirling, de façon à former un liquide cryogénique, ladite pompe à chaleur Stirling étant alimentée par un moteur électrique primaire,
- une étape de pompage pour faire circuler ledit liquide cryogénique sous pression, et
- une étape de refroidissement au cours de laquelle ledit moteur électrique primaire est refroidi à l'aide du liquide cryogénique issu de ladite étape de pompage.

[0031] Les objets assignés à l'invention sont également atteints à l'aide d'un procédé d'oxycombustion comprenant le procédé de refroidissement tel que décrit ci-avant, le procédé d'oxycombustion comprenant en outre une étape d'injection de dioxygène liquéfié lors du procédé de refroidissement au sein d'une chambre de combustion d'un moteur à combustion interne.

[0032] D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront et ressortiront plus en détail à la lecture de la description faite ci-après, en référence aux dessins annexés, donnés uniquement à titre d'exemples illustratifs et non limitatifs, dans lesquels :

[0033] [fig.1] est une illustration schématique simplifiée du principe générale d'un système de refroidissement de l'invention.

[0034] [fig.2] est une illustration schématique d'un mode particulier de réalisation du système de refroidissement de l'invention, avec refroidissement d'hélium.

[0035] [fig.3] est une illustration schématique d'un autre mode particulier du système de refroidissement de l'invention, avec dispositif de séparation, le tout intégré au sein d'un exemple d'ensemble moteur de l'invention.

[0036] [fig.4] est une illustration schématique d'un autre mode particulier encore du système de refroidissement de l'invention, avec électrolyse de l'eau et méthanisation, le tout intégré au sein d'un autre exemple d'ensemble moteur de l'invention.

[0037] [fig.5] est une illustration schématique du dispositif de séparation de la figure 3.

[0038] [fig.6] est une illustration schématique d'un agrandi d'un détail de la figure 5.

[0039] [fig.7] est une illustration schématique d'une partie du dispositif de séparation de la figure 3.

[0040] [fig.8] est une coupe selon un plan B du dispositif de séparation de la figure 7.

- [0041] [fig.9] est une illustration schématique détaillée d'un exemple de principe de fonctionnement d'un dispositif de séparation magnétique selon l'invention.
- [0042] [fig.10] est une illustration schématique du moteur de la figure 3.
- [0043] Comme illustré aux figures, l'invention concerne, selon un premier aspect illustré aux figures, un système de refroidissement 1 comprenant au moins :
- une pompe à chaleur Stirling 2 conçue pour refroidir un gaz d'entrée $\underline{G}_e$ jusqu'à une température cryogénique afin de former un liquide cryogénique $\underline{L}$,
 - un moteur électrique primaire 3, destiné à faire fonctionner ladite pompe à chaleur Stirling 2.
- [0044] Ainsi, le système de refroidissement 1 de l'invention est avantageusement conçu pour refroidir ledit gaz d'entrée $\underline{G}_e$ jusqu'à liquéfaction de ce dernier et plus précisément de manière à ce qu'il atteigne une température cryogénique (également appelée cryotempérature) pour constituer ledit liquide cryogénique $\underline{L}$. Bien évidemment, ledit gaz d'entrée $\underline{G}_e$ est de préférence formé d'au moins un composé pouvant atteindre sous forme liquide une température cryogénique, c'est-à-dire assez basse. Ledit liquide cryogénique $\underline{L}$, et les mentions relatives à la cryogénie en général, se rapporte(nt) de préférence à des températures inférieures à -50°C , plus préférentiellement -100°C , encore plus préférentiellement -150°C ou encore $-153,15^{\circ}\text{C}$ (c'est-à-dire 120 K). En d'autres termes, ladite température cryogénique est avantageusement inférieure à -50°C , plus préférentiellement -100°C , encore plus préférentiellement -150°C ou de manière encore plus préférentielle $-153,15^{\circ}\text{C}$ (c'est-à-dire 120 K). Par exemple la température cryogénique, à laquelle est donc avantageusement portée le liquide cryogénique $\underline{L}$ grâce à ladite pompe à chaleur Stirling 2, est comprise entre -150°C et -270°C , plus préférentiellement entre -170 et -250°C , et plus préférentiellement encore entre -196 et -210°C .
- [0045] Ladite pompe à chaleur Stirling 2 est préférentiellement une machine à froid, et donc avantageusement conçue pour générer du froid (parfois appelé « *froid Stirling* ») selon le cycle de Stirling mais dans le sens inverse de fonctionnement d'un moteur Stirling, puisque le cycle de Stirling est réversible. De manière préférentielle, ladite pompe à chaleur Stirling 2 nécessite ainsi, afin de générer du froid, un entraînement mécanique assuré par ledit moteur électrique primaire 3. Ladite pompe à chaleur Stirling 2 est donc conçue de façon avantageuse pour, seule ou en combinaison avec d'éventuels autres dispositifs de refroidissement, refroidir ledit gaz d'entrée $\underline{G}_e$, au moins jusqu'à sa liquéfaction, et de préférence avant sa solidification, et plus précisément à ladite température cryogénique.
- [0046] L'invention concerne également en tant que tel, selon un deuxième aspect illustré aux figures, un procédé de refroidissement comprenant au moins une étape de refroidissement d'un gaz d'entrée $\underline{G}_e$ à l'aide d'au moins une pompe à chaleur Stirling 2, de

façon à former un liquide cryogénique L, ladite pompe à chaleur Stirling 2 étant alimentée par un moteur électrique primaire 3. Le procédé de refroidissement est bien évidemment préférentiellement mis en œuvre au moyen du système de refroidissement 1 mentionné ci-avant, et décrit plus en détail ci-après. Ainsi, de façon préférentielle, la description qui suit et qui précède concernant le système de refroidissement 1 s'applique donc également au procédé de refroidissement de l'invention, et inversement.

- [0047] Selon l'invention, le système de refroidissement 1 comprend en outre au moins :
- une pompe primaire 4 destinée à faire circuler ledit liquide cryogénique L sous pression, et
 - un moyen de refroidissement 5, destiné à refroidir ledit moteur électrique primaire 3 à l'aide du liquide cryogénique L issu de ladite pompe primaire 4.
- [0048] Selon l'invention, le procédé de refroidissement comprend en outre :
- une étape de pompage pour faire circuler ledit liquide cryogénique L sous pression, et
 - une étape de refroidissement au cours de laquelle ledit moteur électrique primaire 3 est refroidi à l'aide du liquide cryogénique L issu de ladite étape de pompage.
- [0049] Naturellement, ladite étape de pompage est de préférence mise en œuvre à l'aide de ladite pompe primaire 4. Bien évidemment, ladite étape de refroidissement est préférentiellement mise en œuvre à l'aide dudit moyen de refroidissement 5, lequel peut par exemple comprendre un échangeur de chaleur (non illustré) enveloppant le moteur électrique primaire 3. Ledit moyen de refroidissement 5 comprend en outre avantageusement un moyen de recirculation, par exemple un tuyau, conçu pour récupérer le liquide cryogénique L au niveau d'une sortie de la pompe à chaleur Stirling 2 et l'injecter dans ledit échangeur de chaleur. Ladite pompe primaire 4 est de préférence une pompe haute pression, capable de mettre ledit liquide cryogénique L sous une pression supérieure à 40 bars, de préférence supérieure à 70 bars, plus avantageusement supérieure à 100 bars, et par exemple comprise entre 100 et 3000 bars. Ladite étape de pompage est donc avantageusement une étape de pompage haute pression, pour porter le liquide cryogénique L à l'une des plages de pression susmentionnées. Optionnellement, le moyen de refroidissement 5 est conçu de manière à refroidir également ladite pompe à chaleur Stirling 2 elle-même à l'aide dudit liquide cryogénique L en provenance de ladite pompe primaire 4, accélérant de ce fait la condensation du liquide cryogénique L au sein de ladite pompe à chaleur Stirling 2 et permettant à cette dernière de minimiser les pertes (par échauffement par exemple).
- [0050] L'un des avantages de la configuration de refroidissement établie par l'invention est que les liquides cryogéniques présentent bien souvent une viscosité très faible, celle de l'air liquéfié (formant par exemple ledit liquide cryogénique L) étant par exemple

environ 20 fois inférieure à la viscosité de l'eau à l'état liquide. Ainsi, il est possible grâce au système de refroidissement 1 et au procédé de refroidissement de l'invention de mettre facilement sous pression ledit liquide cryogénique L avec ladite pompe primaire 4, et ce à un coût énergétique maîtrisé non seulement en raison de la faible viscosité des liquides cryogéniques mis en œuvre, mais également en raison des températures de fonctionnement de la pompe primaire 4, lesquelles sont avantageusement très basses et permettent la mise en œuvre de ladite pompe primaire 4 dans des conditions aux limites de la supraconductivité, grâce au refroidissement de ladite pompe primaire 4 elle-même par ledit liquide cryogénique L.

[0051] Un autre avantage de la configuration de refroidissement établie par l'invention est que, la mise sous pression (de préférence haute pression) du liquide cryogénique L, qui peut donc être réalisée quasiment sans perte (d'énergie électrique notamment) par ladite pompe primaire 4, permet de maximiser l'efficacité de l'utilisation dudit liquide cryogénique L dans une large variété d'applications. Un des avantages de cette mise sous pression du liquide cryogénique L est qu'elle permet à ce dernier de refroidir suffisamment rapidement ledit moteur électrique primaire 3

[0052] Ladite pompe primaire 4 comprend par exemple un moyen de pompage qui peut être notamment centrifuge, volumétrique, ou encore à vide. De manière particulièrement avantageuse, la pompe primaire 4 comprend un moteur électrique secondaire (non illustré), et le système de refroidissement 1 est conçu pour refroidir ledit moteur électrique secondaire à l'aide du liquide cryogénique L en provenance de ladite pompe à chaleur Stirling 2. Ainsi, préférentiellement pendant l'étape de refroidissement, le liquide cryogénique L en provenance de ladite pompe à chaleur Stirling 2 refroidit ledit moteur électrique secondaire.

[0053] Selon cette configuration, au sein du système de refroidissement 1, le liquide cryogénique L permet avantageusement de faire fonctionner le moteur électrique primaire 3, et préférentiellement également le moteur électrique secondaire, à des températures cryogéniques. Ledit ou lesdits moteur(s) électrique(s) fonctionnant donc avantageusement dans des conditions proches de la supraconductivité en raison de leur faible température de fonctionnement, cette configuration diminuant de façon significative les pertes dans le circuit magnétique (dites pertes « *fer* ») et les pertes par effet Joules (dites pertes « *cuivre* », dues à la résistance électrique) du ou des moteur(s) électrique(s) 3. Ainsi, d'un point de vue énergétique, le système de refroidissement 1 fonctionne quasiment sans pertes autres que des pertes de frottement, lesquelles sont par ailleurs très faibles au sein de la pompe primaire 4 et même au sein de la pompe à chaleur Stirling 2 lorsque ledit liquide cryogénique L présente une faible viscosité. Le système de refroidissement 1 et le procédé de refroidissement peuvent donc être mis en œuvre avec un minimum d'énergie électrique, sans perte substantielle de cette

dernière.

- [0054] Lesdits moteurs électriques primaire 3 et secondaire sont préférentiellement distincts, pour permettre une meilleure maîtrise du système de refroidissement et du procédé de refroidissement, mais alternativement, ils peuvent être formés par un même moteur électrique unique, lequel réalise les deux fonctions de mise en marche de ladite pompe à chaleur Stirling 2 et de mise en marche de ladite pompe primaire 4 ou plus exactement de son moyen de pompage.
- [0055] De manière particulièrement avantageuse, le système de refroidissement 1 comprend en outre un évaporateur 6 destiné à évaporer au moins une partie dudit liquide cryogénique $\underline{L}$ sous pression en provenance dudit moteur électrique primaire 3, de façon à former un gaz de sortie $\underline{G_s}$ et à récupérer de l'énergie de refroidissement. Ledit évaporateur 6 peut être formé d'une unité ou d'une pluralité d'unités, chaque unité formant avantageusement un échangeur de chaleur spécifique. Ledit évaporateur 6 peut être considéré comme étant un échangeur de chaleur global, dont une des fonctions principales est de réchauffer ledit liquide cryogénique $\underline{L}$ de façon à le faire évaporer sous la forme dudit gaz de sortie $\underline{G_s}$. Ledit évaporateur 6 peut également être conçu pour réchauffer transférer de l'énergie de refroidissement dudit gaz de sortie $\underline{G_s}$ (qui reste relativement froid dans l'évaporateur 6, par exemple aux alentours de -10 à -120°C) à un autre composé, ou autrement dit, de transférer de la chaleur de cet autre composé audit gaz de sortie $\underline{G_s}$.
- [0056] Selon certains modes de réalisations particuliers, dont des exemples sont illustrés notamment aux figures 1 à 4, ledit évaporateur 6 comprend au moins un échangeur thermique primaire 7 destiné à recueillir d'une part ledit gaz d'entrée $\underline{G_e}$ pour le refroidir avant son entrée dans ladite pompe à chaleur Stirling 2, et d'autre part au moins une partie dudit liquide cryogénique $\underline{L}$, en provenance dudit moteur électrique primaire 3, pour le réchauffer. De façon avantageuse, ledit évaporateur 6 comprend en outre au moins un échangeur thermique secondaire 8 destiné à réchauffer ledit gaz de sortie $\underline{G_s}$ ou au moins une partie dudit liquide cryogénique $\underline{L}$ en provenance dudit échangeur thermique primaire 7 à l'aide d'une source de chaleur $\underline{Q}$.
- [0057] Selon le mode de réalisation illustré à la figure 1, le système de refroidissement 1 comprend un module de fourniture 9 de ladite source de chaleur $\underline{Q}$. De façon particulièrement avantageuse, ledit module de fourniture 9 est formé par un dispositif de production d'énergie solaire 10, un dispositif de récupération de chaleur de combustion 51 par exemple issue d'un moteur à combustion interne 50, ou un dispositif de récupération de chaleurs fatales issues du système de refroidissement 1 ou d'un autre système.
- [0058] Selon un mode de réalisation illustré à la figure 2, le système de refroidissement 1 comprend un dispositif de liquéfaction de l'hélium 30, lequel comprend au moins :

- un échangeur de chaleur 31 destiné à recueillir d'une part de l'hélium He gazeux pour le refroidir à une cryotempérature, par exemple 120 K ou en-dessous (ou tout autre température cryogénique déjà mentionnée), et d'autre part le liquide cryogénique L sous pression en provenance du moteur électrique primaire 3 pour le réchauffer,
- un module de détente isenthalpique 32, destiné à réaliser la détente isenthalpique de l'hélium He gazeux refroidi en provenance de l'échangeur de chaleur 31, afin de liquéfier ledit hélium He gazeux.

[0059] De façon particulièrement avantageuse, ledit échangeur de chaleur 31 fait donc partie dudit évaporateur 6, et peut être formé par exemple par ledit échangeur thermique primaire 7 ou ledit changeur thermique secondaire 8 ou encore constituer une unité distincte. En d'autres termes, ledit évaporateur 6 comprend ledit échangeur de chaleur 31.

[0060] De préférence, ledit dispositif de liquéfaction de l'hélium 30 comprend en outre au moins l'un ou plusieurs parmi :

- un circuit de refroidissement 33 d'un élément magnétique 34, tel un aimant d'imagerie médicale, à l'aide de l'hélium He liquéfié en provenance dudit module de détente isenthalpique, de sorte que l'hélium He liquéfié soit suffisamment réchauffé pour être vaporisé en hélium He gazeux,
- un compresseur secondaire 36, destiné à comprimer l'hélium He gazeux en provenance dudit circuit de refroidissement 33 et à l'envoyer vers ledit échangeur de chaleur 31, et
- une turbine secondaire 35, positionnée en amont dudit module de détente isenthalpique 32 et destinée à récupérer de l'énergie mécanique de l'hélium He gazeux refroidi provenant de l'échangeur de chaleur 31, ladite turbine secondaire 35 alimentant (au moins en partie) ledit compresseur secondaire 36 en énergie (mécanique, directement, ou électrique, indirectement par exemple via une unité électrique génératrice).

[0061] Selon les modes de réalisation illustrés aux figures 1 à 4, le système de refroidissement 1 comprend un dispositif de récupération d'énergie mécanique 12 pour récupérer l'énergie mécanique produite par un déplacement dudit gaz de sortie G_s. De préférence, le procédé de refroidissement comprend ainsi, en aval de ladite étape de refroidissement, une étape de récupération d'énergie mécanique produite par un déplacement dudit gaz de sortie G_s. De préférence, ledit déplacement gaz de sortie G_s est provoqué par le passage d'au moins une partie dudit liquide cryogénique L à l'état gazeux sous forme dudit gaz de sortie G_s et/ou par un réchauffage et/ou une détente dudit deuxième composant gaz de sortie G_s. Le déplacement dudit gaz de sortie G_s est ainsi avantageusement la source d'un travail mécanique exploité par ledit dispositif de récupération d'énergie mécanique 12.

- [0062] Une telle configuration permet d'obtenir un bilan énergétique particulièrement favorable, c'est-à-dire avec peu de gaspillage et de pertes et un maximum d'efficacité énergétique. Par exemple, ladite pompe primaire 4 est au moins en partie actionnée à l'aide dudit dispositif de récupération d'énergie mécanique 12. Ainsi, selon ce dernier exemple, ladite étape de pompage est moins en partie réalisée à l'aide de l'énergie récupérée lors de ladite étape de récupération d'énergie mécanique.
- [0063] Selon le mode de réalisation illustré à la figure 4, ledit dispositif de récupération d'énergie mécanique 12 comprend au moins un générateur électrique 13. Ledit dispositif de récupération d'énergie mécanique 12 comprend par exemple en outre une turbine primaire 14, liée audit générateur électrique 13, ladite turbine primaire 14 étant mise en rotation par ledit gaz de sortie $\underline{G}_s$. Alternativement, l'énergie mécanique récupérée par ledit dispositif de récupération d'énergie mécanique 12 est réutilisée sous forme mécanique. Ledit dispositif de récupération d'énergie mécanique 12, et plus précisément ledit générateur électrique 13, est ainsi avantageusement conçu pour produire de l'énergie électrique produite $\underline{E}_{ep}$ à partir de l'énergie mécanique récupérée.
- [0064] De façon avantageuse, le système de refroidissement 1 comprend, en amont de ladite pompe à chaleur Stirling 2, un compresseur primaire 15 conçu pour comprimer ledit gaz d'entrée $\underline{G}_e$, comme illustré aux figures 1 à 4. Ce compresseur 15 permet avantageusement de faciliter l'entrée du gaz d'entrée $\underline{G}_e$, par exemple l'air, au sein du système de refroidissement 1, en vue de produire ledit liquide cryogénique $\underline{L}$. De manière préférentielle, ledit compresseur primaire 15 est au moins en partie actionné à l'aide dudit dispositif de récupération d'énergie mécanique 12, par exemple par transmission d'énergie mécanique et/ou électrique $\underline{E}_{m/e}$. Ainsi, de manière avantageuse, le procédé de refroidissement comprend, en amont de ladite étape de refroidissement, une étape de compression au cours de laquelle ledit gaz d'entrée $\underline{G}_e$ est comprimé, ladite étape de compression étant plus préférentiellement au moins en partie réalisée à l'aide de l'énergie récupérée au cours de ladite étape de récupération d'énergie mécanique. Le bilan énergétique et l'efficacité globale du système de refroidissement 1 s'en trouvent encore améliorés.
- [0065] Selon le mode de réalisation illustré à la figure 4, le système de refroidissement comprend en outre un module d'électrolyse 16 de l'eau $\underline{H}_2\text{O}$ en dihydrogène $\underline{H}_2$ et en dioxygène $\underline{O}_2$ alimenté en électricité au moins par ledit générateur électrique 13. Ainsi, ledit générateur électrique 13 fournit l'énergie électrique produite $\underline{E}_{ep}$, au module d'électrolyse 16 avantageusement en continue, ce qui permet d'économiser des quantités importantes d'énergie puisqu'il n'y a plus besoin d'alimenter complètement indépendamment ledit module d'électrolyse 16. Une telle configuration est particulièrement avantageuse car l'électrolyse de l'eau est très coûteuse en énergie électrique.
- [0066] Selon le mode de réalisation illustré à la figure 4, le système de refroidissement 1

comprend avantageusement en outre un module d'échange de chaleur 17 conçu pour :

- refroidir au moins jusqu'à liquéfaction le dioxygène $\underline{O_2}$ issu du module d'électrolyse 16 de façon à former du dioxygène $\underline{O_2}$ liquéfié, et
- réchauffer le gaz de sortie $\underline{G_s}$ en provenance du dispositif de récupération d'énergie mécanique 12.

[0067] Toujours selon le mode de réalisation de la figure 4, le système de refroidissement 1 comprend également une unité de reformage du méthane 18, conçue pour faire réagir du dioxyde de carbone $\underline{CO_2}$ avec du dihydrogène $\underline{H_2}$ issu dudit module d'électrolyse de l'eau 16 afin de former du méthane $\underline{CH_4}$ et de l'eau $\underline{H_2O}$. Le méthane $\underline{CH_4}$ ainsi formé peut avantageusement être injecté dans un moteur à combustion interne 50 en tant que combustible, tandis que le dioxygène $\underline{O_2}$ liquéfié peut être injecté au sein dudit moteur à combustion interne 50 en tant que comburant.

[0068] L'invention concerne également en tant que tel, selon un troisième aspect illustré par les exemples aux figures 3 et 4, un ensemble moteur 60 comprenant au moins :

- le système de refroidissement 1, tel que décrit précédemment et optionnellement ci-après, ledit système de refroidissement 1 étant conçu pour produire du dioxygène $\underline{O_2}$ liquéfié, et
- un moteur à combustion interne 50, en aval dudit système de refroidissement 1 et comprenant une chambre de combustion 25.

[0069] L'ensemble moteur 60 est bien évidemment préférentiellement mis en œuvre au moyen du système de refroidissement 1 mentionné ci-avant, et décrit plus en détail ci-après. Ainsi, de façon préférentielle, la description qui précède (et optionnellement qui suit) concernant le système de refroidissement 1 et le procédé de refroidissement s'applique donc également à l'ensemble moteur 60 de l'invention, et inversement.

[0070] Selon ce troisième aspect de l'invention, le système de refroidissement 1 est relié audit moteur à combustion interne 50 de façon à pouvoir injecter dans ladite chambre de combustion 25 ledit dioxygène $\underline{O_2}$ liquéfié.

[0071] Selon le mode de réalisation illustré à la figure 3, ledit dioxygène $\underline{O_2}$ liquéfié est issu dudit module d'électrolyse de l'eau 16.

[0072] De façon avantageuse, le système de refroidissement 1 est également conçu pour pouvoir injecter également ledit méthane $\underline{CH_4}$ au sein de ladite chambre de combustion 25.

[0073] Par exemple, le moteur à combustion interne 50 est un moteur à quatre temps, un moteur à deux temps, un moteur à piston rotatif (comme illustré), une turbine à gaz, ou un moteur Stirling. Ledit moteur à combustion interne 50 est ainsi avantageusement destiné, à être alimenté par un comburant et un combustible, l'un et/ou l'autre pouvant être issu dudit système de refroidissement 1.

[0074] Selon un mode de réalisation particulier dont un exemple est illustré à la figure 3,

compatible notamment avec le troisième aspect de l'invention et/ou avec les premier et deuxième aspects seuls, ledit liquide cryogénique $\underline{L}$ en provenance dudit moteur électrique primaire 3 est formé d'au moins un premier composant $\underline{C}_1$ et un deuxième composant $\underline{C}_2$ distincts et à l'état liquide.

- [0075] Selon le mode de réalisation illustré à la figure 3, le système de refroidissement 1 comprend en outre un dispositif de séparation 19 conçu pour séparer lesdits premier et deuxième composants $\underline{C}_1$, $\underline{C}_2$ à l'état liquide par magnétisme, l'un desdits premier et deuxième composants $\underline{C}_1$, $\underline{C}_2$ à l'état liquide présentant un caractère paramagnétique bien supérieur à l'autre desdits premier et deuxième composants $\underline{C}_1$, $\underline{C}_2$. Ainsi, selon ce dernier mode de réalisation, le procédé de refroidissement comprend en outre une étape de séparation desdits premier et deuxième composants $\underline{C}_1$, $\underline{C}_2$ à l'état liquide par magnétisme. Bien évidemment, ladite étape de séparation est préférentiellement mise en œuvre au moyen dudit dispositif de séparation 19.
- [0076] Selon un premier exemple, tel que celui illustré à la figure 3, ledit gaz d'entrée $\underline{G}_e$ est formé par de l'air, ledit premier composant $\underline{C}_1$ étant principalement formé par du dioxygène $\underline{O}_2$, tandis que ledit deuxième composant $\underline{C}_2$ est très majoritairement formé par du diazote $\underline{N}_2$. De préférence, ledit deuxième $\underline{C}_2$ composant comprend ainsi en outre de l'argon $\underline{Ar}$ et/ou du dioxyde de carbone $\underline{CO}_2$, lesquels se trouvent dans l'air chacun à une proportion bien inférieure à celle du diazote $\underline{N}_2$. Selon un deuxième exemple, ledit gaz d'entrée $\underline{G}_e$ est formé principalement par du gaz naturel ou du bio-méthane (c'est-à-dire issu d'un procédé essentiellement biologique de production de méthane), ledit premier composant $\underline{C}_1$ étant majoritairement formé de méthane $\underline{CH}_4$ tandis que ledit deuxième composant $\underline{C}_2$, en particulier à l'état liquide, est formé des effluents du gaz naturel ou bio-méthane, lesdits effluents étant dans le cas présent préférentiellement formés de la fraction liquide du gaz naturel ou bio-méthane rejetée à la suite du traitement du gaz d'entrée $\underline{G}_e$ (refroidissement jusqu'à liquéfaction) débarrassée de son principal produit valorisable, à savoir ici le méthane $\underline{CH}_4$. En effet, le gaz naturel et le biométhane sont habituellement formés chacun par un mélange de plusieurs espèces chimiques, parmi lesquelles le méthane $\underline{CH}_4$ est normalement prépondérant.
- [0077] Ledit dispositif de séparation 19 comprend de préférence en outre une pompe à induction 20, par exemple monophasée ou triphasée, conçue pour expulser ledit composant le plus paramagnétique, parmi lesdits premier et deuxième composants $\underline{C}_1$, $\underline{C}_2$, hors du dispositif de séparation 19, de préférence tout en le pressurant. Avantageusement, ledit dispositif de séparation 19 comprend un piège magnétique 21 conçu pour émettre un champ magnétique 100 de sorte à retenir le composant le plus paramagnétique, parmi lesdits premier et deuxième composants $\underline{C}_1$, $\underline{C}_2$, sensiblement au sein d'une portion de piégeage 22 dudit dispositif de séparation 19. De façon avantageuse,

ladite étape de séparation comprend ainsi une étape de piégeage magnétique dans laquelle un champ magnétique 100 est émis de façon à retenir le composant le plus paramagnétique, parmi lesdits premier et deuxième composants $\underline{C}_1$, $\underline{C}_2$, sensiblement au sein d'une zone de piégeage 23, laquelle est de préférence formée de ou entourée par ladite portion de piégeage 22. Naturellement, ladite étape de piégeage magnétique est avantageusement mise en œuvre à l'aide dudit piège magnétique 21. De préférence, ledit dispositif de séparation 19 comprend un moyen de décantation 24 dudit liquide cryogénique $\underline{L}$, une portion au moins dudit moyen de décantation 24 formant ladite portion de piégeage 22. Le procédé de refroidissement comprend donc avantageusement une étape de décantation dudit liquide cryogénique $\underline{L}$, ladite étape de décantation étant préférentiellement mise en œuvre au moyen dudit moyen de décantation 24, lequel comprend par exemple un vase de décantation. De façon avantageuse, lesdites étapes de décantation et de piégeage sont au moins en partie concomitantes. Avantageusement, ledit piège magnétique 21 et ladite pompe à induction 20 sont utilisés en combinaison, ladite pompe à induction 20 étant en aval du piège magnétique 21 et permettant de compléter l'étape de séparation desdits premier et deuxième composants $\underline{C}_1$, $\underline{C}_2$. Selon un exemple de fonctionnement donné à titre illustratif uniquement et non limitatif, pour finaliser cette séparation, le premier composant $\underline{C}_1$ à l'état liquide (dioxygène $\underline{O}_2$ liquide dans le cas où le gaz d'entrée $\underline{G}_e$ est l'air) est aspiré dans le piège magnétique 21 par la pompe à induction 20 dont le champ magnétique, grâce à un déphasage, génère une onde magnétique qui se déplace le long d'un tuyau d'évacuation formant une sortie dudit premier composant $\underline{C}_1$ à l'état liquide, attirant ainsi le premier composant $\underline{C}_1$ à l'état liquide (formé par exemple de dioxygène $\underline{O}_2$ liquide) hors du moyen de décantation 24 tout en le mettant sous pression. La vitesse de déplacement du premier composant $\underline{C}_1$ à l'état liquide est préférentiellement proportionnelle à la fréquence du courant alimentant la pompe à induction 20 et aux forces de Lorentz.

[0078] Comme illustré à la figure 9, le piège magnétique 21, et plus précisément ladite portion de piégeage 22, comprend avantageusement un réseau magnétique formé de petits aimants 26 qui constituent de petites alvéoles en trois dimensions, et qui permettent d'émettre ledit champ magnétique 100. L'ensemble desdits aimants 17 peut former un cube, un cylindre, ou un cône, et les alvéoles sont de plus en plus petites au fur et à mesure de l'approche du bas. Une telle configuration s'apparente à un filtre magnétique aux mailles de plus en plus fines. A la figure 9, les indices $\underline{P}_+$ et $\underline{P}_-$ représentent avantageusement des gradients de pression partielle dû à la concentration respectivement du dioxygène $\underline{O}_2$ (ou plus généralement du premier composant $\underline{C}_1$) liquide et du diazote $\underline{N}_2$ (ou plus généralement dudit deuxième composant $\underline{C}_2$) liquide au sein du piège magnétique 21, tandis que les flèches horizontales issues des signes $\underline{O}$

$\underline{N}_2$ et $\underline{Q}_2$ représentent les vitesses hydrauliques respectives du dioxygène $\underline{Q}_2$ liquide et du diazote $\underline{N}_2$ liquide, respectivement, la forme d'onde tout à gauche représentant la répartition des vitesses des premier et second composants $\underline{C}_1$, $\underline{C}_2$ mélangés à l'état liquides juste avant leur séparation magnétique. De façon avantageuse, sous l'effet du champ magnétique 100, ledit dioxygène $\underline{Q}_2$ liquide (ou plus généralement ledit premier composant $\underline{C}_1$) se rapproche d'une première paroi 27 du piège magnétique 21 derrière laquelle se trouve lesdits aimants 26, tandis que le diazote $\underline{N}_2$ (ou plus généralement le deuxième composant $\underline{C}_2$) se rapproche d'une seconde paroi 28 du piège magnétique 21 opposée à la première paroi 27 et dépourvue d'aimant, le champ magnétique 100 exerçant une force magnétique $\underline{F}_m$ sur les molécules paramagnétique du dioxygène $\underline{Q}_2$ (ou plus généralement sur le plus paramagnétique desdits premier et deuxième composants $\underline{C}_1$, $\underline{C}_2$, de préférence ledit premier composant $\underline{C}_1$) seulement, et pas sur les molécules du diazote $\underline{N}_2$. Ainsi, selon cette variante à dispositif de séparation 19 magnétique, l'étape de séparation et/ou le dispositif de séparation 19 de l'invention utilise(nt) la capacité paramagnétique du dioxygène $\underline{Q}_2$ liquide (et plus généralement dudit premier composant $\underline{C}_1$ à l'état liquide), qui est ainsi retenu entre des pôles d'aimant et/ou est attiré par un champ magnétique 11, pour le séparer du diazote $\underline{N}_2$ et de l'argon $\underline{Ar}$ (et plus généralement dudit deuxième composant $\underline{C}_2$ à l'état liquide). En effet, l'argon liquide $\underline{Ar}$ et l'azote liquide $\underline{N}_2$ étant principalement amagnétiques, ils ne sont avantageusement pas retenus par le champ magnétique 100.

[0079] Ladite pompe à induction 20 comprend, selon un exemple avantageux illustré à la figure 7, un enroulement 70 de fil en triphasé pour la collecte dudit premier composant $\underline{C}_1$ au sein du moyen de décantation 6, et en aval de cet enroulement 70 une ou plusieurs bobines en triphasé 71, comme illustré à la figure 6. Une telle configuration permet préférentiellement à la fois d'améliorer la séparation finale desdits premier et deuxième composants $\underline{C}_1$, $\underline{C}_2$, et de mettre sous pression, c'est-à-dire à un débit significatif, ledit premier composant $\underline{C}_1$ liquide enfin séparé dudit deuxième composant $\underline{C}_2$ liquide.

[0080] Cette configuration spécifique à dispositif de séparation 19 fonctionnant grâce au magnétisme est particulièrement avantageuse, puisque les températures de fonctionnement du dispositif de séparation 19 magnétique, et notamment dudit piège magnétique 21 et de ladite pompe à induction 20, sont très basses (cryotempératures). Ainsi, les parties conductrices du dispositif de séparation 19, notamment dans le cas d'aimants et plus particulièrement d'électro-aimant, sont aux limites de la supraconductivité naturelle du cuivre ou de l'aluminium, et des courants électriques de toutes grandeurs peuvent donc être utilisés et générer de grandes forces magnétiques avec peu d'échauffement et donc peu de pertes électriques et thermiques.

- [0081] Selon le mode de réalisation illustré à la figure 3, l'ensemble moteur 60 est conçu de façon que le système de refroidissement 1 puisse pour injecter, au sein de ladite chambre de combustion 25, le premier composant $\underline{C}_1$ à l'état en provenance du dispositif de séparation 19, ledit premier composant $\underline{C}_1$ à l'état liquide formant avantageusement ledit dioxygène $\underline{O}_2$ liquéfié. De façon avantageuse, ledit premier composant $\underline{C}_1$ injecté est donc destiné à servir de comburant au sein du moteur à combustion interne 50.
- [0082] De façon particulièrement avantageuse, ledit dispositif de séparation 19 est donc conçu pour injecter ledit deuxième composant $\underline{C}_2$ à l'état liquide dans ledit évaporateur 6 et ne pas injecter ledit premier composant $\underline{C}_1$ à l'état liquide dans ledit évaporateur 6. Par exemple, l'ensemble moteur 60 est conçu de façon que le deuxième composant $\underline{C}_2$ soit formé (principalement) par ledit diazote $\underline{N}_2$ liquide et qu'il soit introduit dans l'évaporateur 6, tandis que le premier composant $\underline{C}_1$ est formé par ledit dioxygène $\underline{O}_2$ liquide et injecté directement dans ledit moteur à combustion interne 50, pour réaliser une oxycombustion, comme illustré à la figure 3.
- [0083] Ainsi, une alternative spécifique du troisième aspect de l'invention concerne un ensemble moteur 60 comprenant :
- le système de refroidissement 1, et
 - un moteur à combustion interne 50, en aval dudit système de refroidissement 1 et comprenant une chambre de combustion 25
- le système de refroidissement 1 étant relié audit moteur 26 de façon à pouvoir injecter dans ladite chambre de combustion 25 ledit premier composant $\underline{C}_1$. Ce dernier est bien évidemment préférentiellement formé par du dioxygène $\underline{O}_2$.
- [0084] De façon avantageuse, ledit moteur 50 comprend une sortie d'échappement 42 conçue pour évacuer au moins un composant d'échappement $\underline{C}_e$ à l'état gazeux hors de ladite chambre de combustion 25. Plus avantageusement encore, en aval de ladite sortie d'échappement 42, ledit évaporateur 6 est conçu pour refroidir ledit composant d'échappement $\underline{C}_e$ en provenance de ladite sortie d'échappement 42 et réchauffer ledit deuxième composant $\underline{C}_2$ en provenance dudit dispositif de séparation 19. Ladite sortie d'échappement 42 forme ainsi avantageusement une partie dudit dispositif de récupération de chaleur de combustion 51.
- [0085] Le combustible du moteur à combustion interne 50 peut être notamment un hydrocarbure, par exemple le méthane $\underline{CH}_4$, ou du dihydrogène $\underline{H}_2$. Lorsque le combustible est un hydrocarbure et notamment le méthane $\underline{CH}_4$, le composant d'échappement $\underline{C}_e$ à l'état gazeux, qui contient les produits de la combustion du moteur 26, sera principalement formé d'eau et de dioxyde de carbone $\underline{CO}_2$. Lorsque le combustible est le dihydrogène $\underline{H}_2$, le composant d'échappement $\underline{C}_e$ à l'état gazeux, sera formé principalement voire quasiment uniquement d'eau. L'absence de diazote $\underline{N}$

O_2 dans la chambre de combustion, grâce à l'injection directe de dioxygène O_2 liquide (ou éventuellement gazeux) pur est un des avantages de l'ensemble moteur 60 de l'invention (dont deux variantes spécifiques sont illustrées aux figures 3 et 4), notamment en ce qui concerne la diminution de la pollution relative aux oxydes d'azote, aussi appelés « NO_x ». En effet, le moteur à combustion interne 50 de l'ensemble moteur 60, en l'absence d'azote dans la chambre de combustion 25, ne produit pas ou quasiment pas de NO_x .

[0086] De façon avantageuse, l'ensemble moteur 60 comprend un dispositif de récupération de chaleur de combustion 51, de préférence celui décrit précédemment, pour récupérer la chaleur de combustion du composant d'échappement C_e provenant de ladite chambre de combustion 25.

[0087] De préférence, l'ensemble moteur 60 est conçu de façon que l'évaporateur 6 pour refroidisse ledit composant d'échappement C_e au moins jusqu'à liquéfaction d'une portion primaire de ce dernier, comme illustré aux figures 3 et 4. Préférentiellement, l'ensemble moteur 60 est conçu pour utiliser ladite portion primaire liquéfiée afin de liquéfier une portion secondaire dudit composant d'échappement C_e , lesdites portions primaire et secondaire étant distinctes. Ladite portion primaire est avantageusement principalement formée de dioxyde de carbone CO_2 , tandis que ladite portion secondaire est principalement formée d'eau, comme illustré aux figures 3 et 4. Plus avantageusement encore, ledit un dispositif de récupération de chaleur de combustion 51 comprend un dispositif de réinjection (non illustré) conçu pour balayer ladite chambre de combustion 25 avec ladite portion primaire et/ou ladite portion secondaire (à l'état liquide ou alternativement gazeux) afin d'expulser ledit composant d'échappement C_e hors de ladite chambre de combustion 25. Une telle configuration permet d'améliorer le fonctionnement du moteur à combustion interne 50 en expulsant efficacement ce dernier le composant d'échappement C_e . Par exemple, en particulier lorsque le combustible est un hydrocarbure, ledit dispositif de réinjection est conçu pour injecter la portion primaire liquide formée de dioxyde de carbone, au sein de ladite chambre de combustion 25, pour optimiser le balayage de cette dernière, c'est-à-dire expulser la totalité des gaz brûlés par la combustion et qui forment le composant d'échappement C_e à l'état gazeux.

[0088] L'invention concerne également en tant que tel, selon un quatrième aspect, un procédé d'adaptation d'un moteur à combustion interne 50 comprenant au moins une tubulure d'admission et une chambre de combustion 25, ledit procédé d'adaptation comprenant au moins :

- une étape de fermeture ou d'enlèvement de ladite tubulure d'admission du moteur 26,
- une étape d'installation dans laquelle le système de refroidissement 1 tel que décrit

précédemment est relié audit moteur à combustion interne 50, au niveau de ladite tubulure d'admission fermée ou enlevée et donc en amont de ladite chambre de combustion 25, de façon à pouvoir injecter dans cette dernière du dioxygène $\underline{O}_2$ liquéfié produit par ledit système de refroidissement 1.

[0089] Avantageusement, à l'issue de ladite étape d'installation, ledit moteur à combustion interne 50 et le système de refroidissement 1 forment un ensemble moteur 60 tel que décrit ci-avant

[0090] Par exemple, ledit dioxygène $\underline{O}_2$ liquéfié peut être formé par ledit premier composant $\underline{C}_1$ provenance du dispositif de séparation 19, comme illustré à la figure 3, ou bien par le dioxygène $\underline{O}_2$ formé par le module d'électrolyse de l'eau 16 et liquéfié par ledit module d'échange de chaleur 17, ou encore une combinaison des deux. Bien évidemment, la description qui suit et qui précède concernant le système de refroidissement 1, l'ensemble moteur 60 et le procédé de refroidissement s'applique donc également au procédé d'adaptation de l'invention, et inversement.

[0091] L'invention concerne également en tant que tel, selon un cinquième aspect, un procédé d'oxycombustion comprenant le procédé de refroidissement tel que décrit ci-avant, le procédé d'oxycombustion comprenant en outre une étape d'injection de dioxygène liquéfié $\underline{O}_2$ lors du procédé de refroidissement au sein d'une chambre de combustion 25 d'un moteur à combustion interne 50. Bien évidemment, la description qui suit et qui précède concernant le système de refroidissement 1, l'ensemble moteur 60, le procédé de refroidissement et même le procédé d'adaptation s'applique donc également au procédé d'oxycombustion de l'invention, et inversement. Par exemple, ledit gaz d'entrée $\underline{G}_e$ étant formé par de l'air, ledit premier composant $\underline{C}_1$ étant principalement formé par du dioxygène $\underline{O}_2$, et lors de ladite étape d'injection, ledit premier composant $\underline{C}_1$ est injecté dans ladite chambre de combustion 25.

[0092] Par exemple, comme illustré à la figure 10, le moteur à combustion interne 50, est à piston rotatif 44 (en forme de triangle de Reuleaux). Le moteur à combustion interne 50 à piston rotatif 44 de la variante illustrée à la figure 10 comprend deux bougies d'allumage 39 en opposition, deux injections communes de combustible et de comburant 40, 41 également en opposition, et deux sorties d'échappement 42 aussi en opposition et conçues pour évacuer le composant d'échappement $\underline{C}_e$ à l'état gazeux, comme décrit précédemment. Ledit comburant est préférentiellement formé par du dioxygène $\underline{O}_2$ liquide, formé par exemple par ledit premier composant $\underline{C}_1$. L'oxycombustion permet ici de surmonter les problèmes de faible compression récurrents des moteurs à piston rotatif classiques, notamment en adaptant la vitesse de rotation du piston rotatif 44.

[0093] Le système de refroidissement 1 est également adapté pour la production de petites quantités dudit premier composant $\underline{C}_1$ liquéfié, ou, après retour à l'état gazeux de ce

dernier, pour la production de petite quantité dudit premier composant $\underline{C}_1$ à l'état gazeux mais comprimé (c'est-à-dire sous pression relativement élevée).

- [0094] L'invention concerne également en tant que tel, selon un cinquième aspect non illustré ici, un système de climatisation haute puissance comprenant le système de refroidissement précédemment décrit, l'énergie de refroidissement du système de climatisation haute puissance étant fournie via ledit évaporateur 6.
- [0095] Par convention, de manière purement indicative et non limitative, il est indiqué dans les figures les signes (g) et (liq) pour indiquer respectivement les états gazeux et liquide de différents composants. Dans les figures, les flèches positionnées de part et d'autre des lignes continues indiquent de préférence le sens d'un flux, par exemple un flux de $\text{He}_{(g)}$ c'est-à-dire un flux d'hélium $\underline{\text{He}}$ à l'état gazeux.
- [0096] Les termes du type premier, deuxième, troisième, quatrième, cinquième, primaire, secondaire, tertiaire de la précédente description sont de préférence employés à des fins distinctives uniquement, et non pour désigner un rang ou une numérotation ordinale. Un deuxième élément peut par exemple être introduit sans forcément qu'un premier élément de même nature soit également introduit ou même présent implicitement.
- [0097] En résumé, l'invention est en lien avec les problématiques de production de gaz liquéfié, de dépollution et d'efficacité énergétique des moteurs à combustion, et plus généralement d'économie d'énergie.

Revendications

- [Revendication 1] Système de refroidissement (1) comprenant au moins :
- une pompe à chaleur Stirling (2) conçue pour refroidir un gaz d'entrée (G_e) jusqu'à une température cryogénique afin de former un liquide cryogénique (L),
 - un moteur électrique primaire (3), destiné à faire fonctionner ladite pompe à chaleur Stirling (2),
 - une pompe primaire destinée à faire circuler ledit liquide cryogénique (L) sous pression, et
 - un moyen de refroidissement (5), destiné à refroidir ledit moteur électrique primaire (3) à l'aide du liquide cryogénique (L) issu de ladite pompe primaire (4).
- [Revendication 2] Système de refroidissement (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce la pompe primaire (4) comprend un moteur électrique secondaire, le système de refroidissement (1) étant conçu pour refroidir ledit moteur électrique secondaire à l'aide du liquide cryogénique (L) en provenance de ladite pompe à chaleur Stirling (2).
- [Revendication 3] Système de refroidissement (1) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif de liquéfaction de l'hélium (30), lequel comprend au moins :
- un échangeur de chaleur (31) destiné à recueillir d'une part de l'hélium gazeux pour le refroidir à une cryotempérature, par exemple 120 K ou en-dessous, et d'autre part le liquide cryogénique (L) sous pression en provenance du moteur électrique primaire (3) pour le réchauffer,
 - un module de détente isenthalpique (32), destiné à réaliser la détente isenthalpique de l'hélium (He) gazeux refroidi en provenance de l'échangeur de chaleur (31), afin de liquéfier ledit hélium (He) gazeux.
- [Revendication 4] Système de refroidissement (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit dispositif de liquéfaction de l'hélium (30) comprend en outre :
- un circuit de refroidissement (33) d'un élément magnétique (34), tel un aimant d'imagerie médicale, à l'aide de l'hélium (He) liquéfié en provenance dudit module de détente isenthalpique (32), de sorte que l'hélium (He) liquéfié soit suffisamment réchauffé pour être vaporisé en hélium (He) gazeux,
 - un compresseur secondaire (36), destiné à comprimer l'hélium (He) gazeux en provenance dudit circuit de refroidissement (30) et à

l'envoyer vers ledit échangeur de chaleur (31), et
 - une turbine secondaire (35), positionnée en amont dudit module de détente isenthalpique (32) et destinée à récupérer de l'énergie mécanique de l'hélium (He) gazeux refroidi provenant de l'échangeur de chaleur (31), ladite turbine secondaire (35) alimentant ledit compresseur secondaire (36) en énergie.

- [Revendication 5] Système de refroidissement (1) selon l'une quelconques des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend un évaporateur (6) destiné à évaporer au moins une partie dudit liquide cryogénique (L) sous pression en provenance dudit moteur électrique primaire (3), de façon à former un gaz de sortie (G_s) et à récupérer de l'énergie de refroidissement.
- [Revendication 6] Système de refroidissement (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit évaporateur (6) comprend au moins un échangeur thermique primaire (7) destiné à recueillir d'une part ledit gaz d'entrée (G_e) pour le refroidir avant son entrée dans ladite pompe à chaleur Stirling (2), et d'autre part au moins une partie dudit liquide cryogénique (L), en provenance dudit moteur électrique primaire (3), pour le réchauffer.
- [Revendication 7] Système de refroidissement (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit évaporateur (6) comprend en outre au moins un échangeur thermique secondaire (8) destiné à réchauffer ledit gaz de sortie (G_s) ou au moins une partie dudit liquide cryogénique (L) en provenance dudit échangeur thermique primaire (7) à l'aide d'une source de chaleur (Q).
- [Revendication 8] Système de refroidissement (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend un module de fourniture (9) de ladite source de chaleur (Q), ledit module de fourniture (9) étant formé par un dispositif de production d'énergie solaire (10), un dispositif de récupération de chaleur de combustion (51), ou un dispositif de récupération de chaleurs fatales issues du système de refroidissement (1) ou d'un autre système.
- [Revendication 9] Système de refroidissement (1) selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif de récupération d'énergie mécanique (12) pour récupérer l'énergie mécanique produite par un déplacement dudit gaz de sortie (G_s).
- [Revendication 10] Système de refroidissement (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend, en amont de ladite pompe à chaleur

Stirling (2), un compresseur primaire (15) conçu pour comprimer ledit gaz d'entrée (G_e), ledit compresseur primaire (15) étant au moins en partie actionné à l'aide dudit dispositif de récupération d'énergie mécanique (12).

- [Revendication 11] Système de refroidissement (1) selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce que ledit dispositif de récupération d'énergie mécanique (34) comprend au moins un générateur électrique (13), le système de refroidissement (1) comprenant en outre un module d'électrolyse (16) de l'eau en dihydrogène (H_2) et en dioxygène (O_2) alimenté en électricité au moins par ledit générateur électrique (13).
- [Revendication 12] Système de refroidissement (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un module d'échange de chaleur (17) conçu pour :
- refroidir au moins jusqu'à liquéfaction le dioxygène (O_2) issu du module d'électrolyse (16) de façon à former du dioxygène (O_2) liquéfié, et
 - réchauffer le gaz de sortie (G_s) en provenance du dispositif de récupération d'énergie mécanique (12).
- [Revendication 13] Système de refroidissement (1) selon la revendication 11 ou 12, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une unité de reformage du méthane (18), conçue pour faire réagir du dioxyde de carbone (CO_2) avec du dihydrogène (H_2) issu dudit module d'électrolyse (16) de l'eau afin de former du méthane (CH_4) et de l'eau (H_2O).
- [Revendication 14] Système de refroidissement (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit liquide cryogénique (L) en provenance dudit moteur électrique primaire (3) est formé d'au moins un premier composant (C_1) et un deuxième composant (C_2) distincts et à l'état liquide, le système de refroidissement (1) comprenant en outre un dispositif de séparation (19) conçu pour séparer lesdits premier et deuxième composants (C_1 , C_2) à l'état liquide par magnétisme, l'un desdits premier et deuxième composants (C_1 , C_2) à l'état liquide présentant un caractère paramagnétique bien supérieur à l'autre desdits premier et deuxième composants (C_1 , C_2).
- [Revendication 15] Système de refroidissement (1) selon les revendications 5 et 14, caractérisé en ce que ledit dispositif de séparation (19) est conçu pour injecter ledit deuxième composant (C_2) à l'état liquide dans ledit évaporateur (6) et ne pas injecter ledit premier composant (C_1) à l'état liquide dans ledit évaporateur (6).

- [Revendication 16] Système de refroidissement (1) selon la revendication 14 ou 15, caractérisé en ce que ledit dispositif de séparation (19) comprend en outre une pompe à induction (20), par exemple monophasée ou triphasée, conçue pour expulser ledit composant le plus paramagnétique, parmi lesdits premier et deuxième composants (C_1 , C_2), hors du dispositif de séparation (19), de préférence tout en le pressurant.
- [Revendication 17] Système de refroidissement (1) selon l'une quelconque des revendications 14 à 16, caractérisé en ce que ledit dispositif de séparation (19) comprend un piège magnétique (21) conçu pour émettre un champ magnétique (100) de sorte à retenir le composant le plus paramagnétique, parmi lesdits premier et deuxième composants (C_1 , C_2), sensiblement au sein d'une portion de piégeage (22) dudit dispositif de séparation (19).
- [Revendication 18] Système de refroidissement (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit dispositif de séparation (19) comprend un moyen de décantation (24) dudit liquide cryogénique (L), une portion au moins dudit moyen de décantation (24) formant ladite portion de piégeage (22).
- [Revendication 19] Système de refroidissement (1) selon l'une quelconque des revendications 14 à 18, caractérisé en ce que ledit gaz d'entrée (G_e) est formé par de l'air, ledit premier composant (C_1) étant principalement formé par du dioxygène (O_2), tandis que ledit deuxième composant (C_2) est très majoritairement formé par du diazote (N_2).
- [Revendication 20] Système de refroidissement (1) selon l'une quelconque des revendications 14 à 19, caractérisé en ce qu'il est relié à un moteur à combustion interne (50) comprenant une chambre de combustion (25), le système de refroidissement (1) étant conçu pour injecter, au sein de ladite chambre de combustion (25), le premier composant (C_1) en provenance du dispositif de séparation (19).
- [Revendication 21] Système de refroidissement (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce ledit premier composant (C_1) injecté est destiné à servir de comburant au sein du moteur à combustion interne (50).
- [Revendication 22] Système de climatisation haute puissance, caractérisé en ce qu'il comprend le système de refroidissement selon la revendication 5 et optionnellement l'une quelconque des autres revendications précédentes, l'énergie de refroidissement du système de climatisation haute puissance étant fournie via ledit évaporateur (6).
- [Revendication 23] Ensemble moteur (60) caractérisé en ce qu'il comprend au moins:
- le système de refroidissement (1) selon l'une quelconque des reven-

dications 1 à 21, ledit système de refroidissement (1) étant conçu pour produire du dioxygène (O_2) liquéfié, et

- un moteur à combustion interne (50), en aval dudit système de refroidissement (1) et comprenant une chambre de combustion (25),

le système de refroidissement (1) étant relié audit moteur à combustion interne (50) de façon à pouvoir injecter dans ladite chambre de combustion (25) ledit dioxygène (O_2) liquéfié.

[Revendication 24] Ensemble moteur (60) selon la revendication précédente lorsque celle-ci dépend de l'une quelconque des revendications 14 à 21, caractérisé en ce qu'il est conçu de façon que le système de refroidissement (1) puisse pour injecter, au sein de ladite chambre de combustion (25), le premier composant (C_1) à l'état liquide en provenance du dispositif de séparation (19), ledit premier composant (C_1) à l'état liquide formant avantageusement ledit dioxygène (O_2) liquéfié.

[Revendication 25] Ensemble moteur (60) selon la revendication 23 ou 24 lorsqu'elle dépend de l'une quelconque des revendications 11 à 13, caractérisé en ce que ledit dioxygène (O_2) liquéfié est issu dudit module d'électrolyse (16) de l'eau.

[Revendication 26] Procédé d'adaptation d'un moteur à combustion interne (50) comprenant au moins une tubulure d'admission et une chambre de combustion (25), ledit procédé d'adaptation étant caractérisé en ce qu'il comprend au moins :

- une étape de fermeture ou d'enlèvement de ladite tubulure d'admission du moteur (26),
- une étape d'installation dans laquelle le système de refroidissement (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 21 est relié audit moteur à combustion interne (50), au niveau de ladite tubulure d'admission fermée ou enlevée et donc en amont de ladite chambre de combustion (25), de façon à pouvoir injecter dans cette dernière du dioxygène (O_2) liquéfié produit par ledit système de refroidissement (1).

[Revendication 27] Procédé d'adaptation selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'à l'issue de ladite étape d'installation, ledit moteur à combustion interne (50) et le système de refroidissement (1) forment un ensemble moteur (60) selon la revendication 24 ou 25.

[Revendication 28] Procédé de refroidissement comprenant au moins :

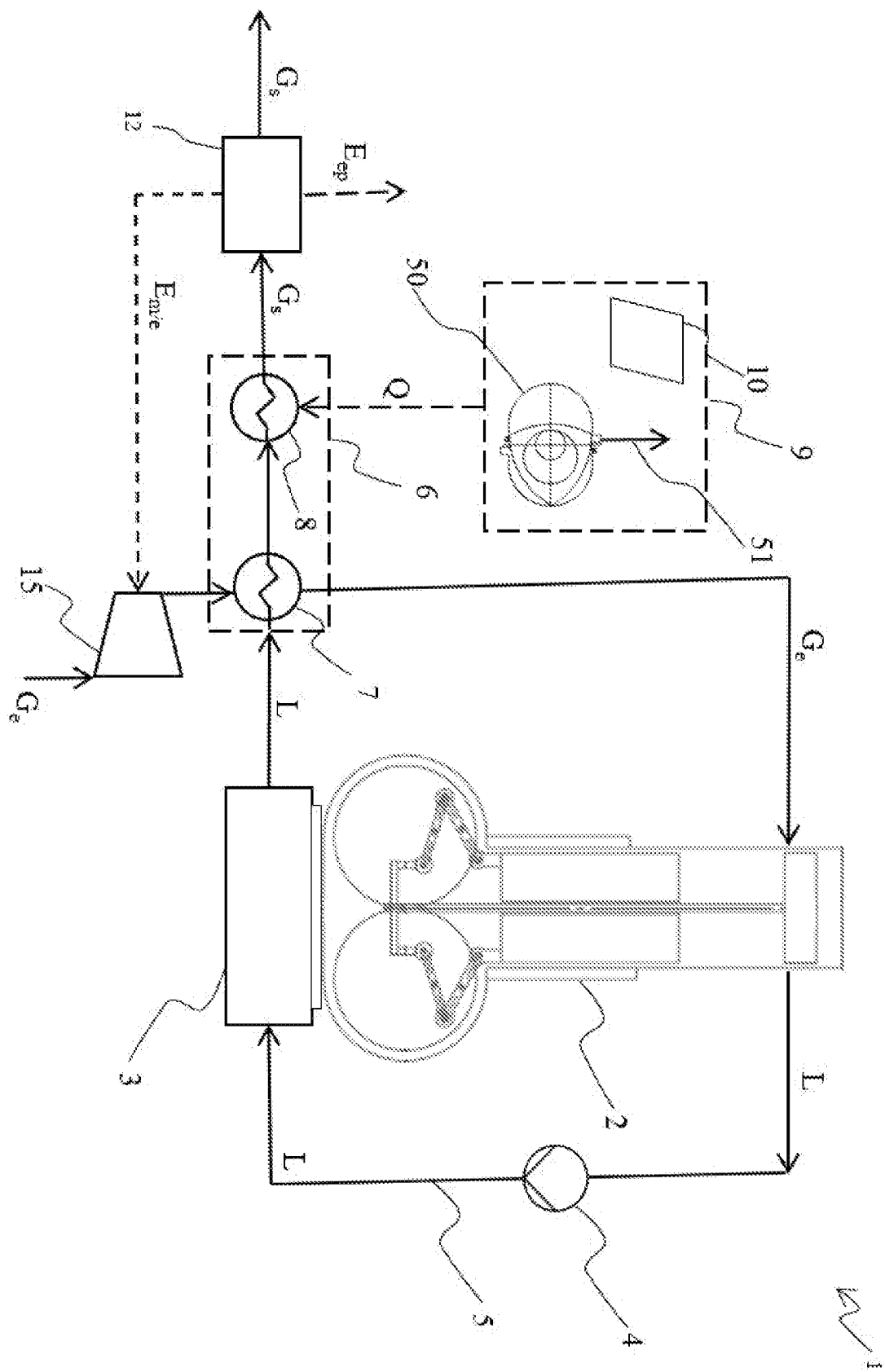
- une étape de refroidissement d'un gaz d'entrée (G_e) à l'aide d'au moins une pompe à chaleur Stirling (2), de façon à former un liquide cryogénique (L), ladite pompe à chaleur Stirling (2) étant alimentée par

un moteur électrique primaire (3),
 - une étape de pompage pour faire circuler ledit liquide cryogénique (L) sous pression, et
 - une étape de refroidissement au cours de laquelle ledit moteur électrique primaire (3) est refroidi à l'aide du liquide cryogénique (L) issu de ladite étape de pompage.

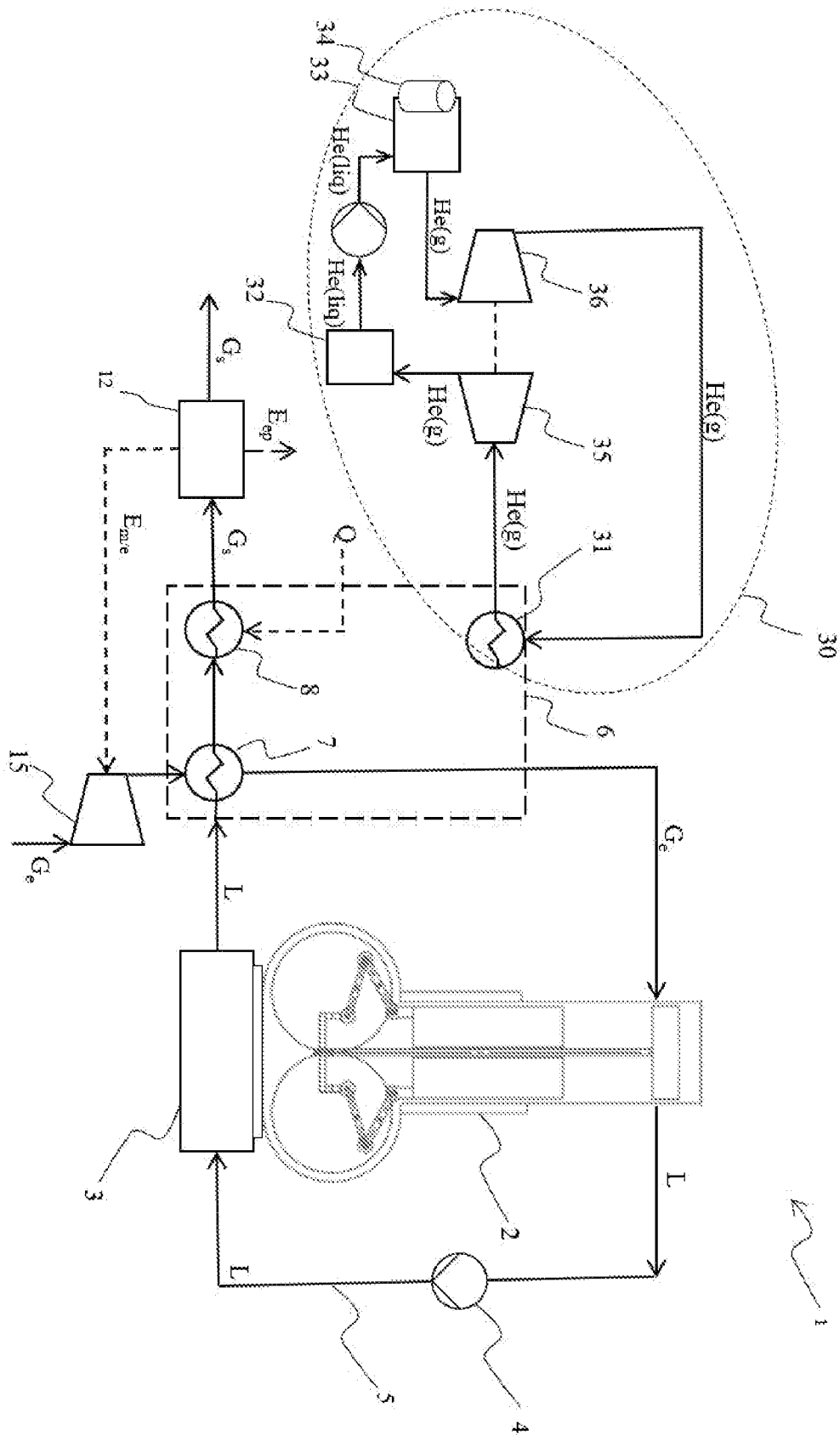
[Revendication 29] Procédé de refroidissement selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit liquide cryogénique (L) en provenance dudit moteur électrique primaire (3) est formé d'au moins un premier composant (C_1) et un deuxième composant (C_2) distincts et à l'état liquide, le procédé de refroidissement comprenant en outre une étape de séparation desdits premier et deuxième composants (C_1 , C_2) à l'état liquide par magnétisme, l'un desdits premier et deuxième composants (C_1 , C_2) à l'état liquide présentant un caractère paramagnétique bien supérieur à l'autre desdits premier et deuxième composants (C_1 , C_2).

[Revendication 30] Procédé d'oxycombustion caractérisé en ce qu'il comprend le procédé de refroidissement selon la revendication 28 ou 29, le procédé d'oxycombustion comprenant en outre une étape d'injection de dioxygène liquéfié (O_2) lors du procédé de refroidissement au sein d'une chambre de combustion (25) d'un moteur à combustion interne (50).

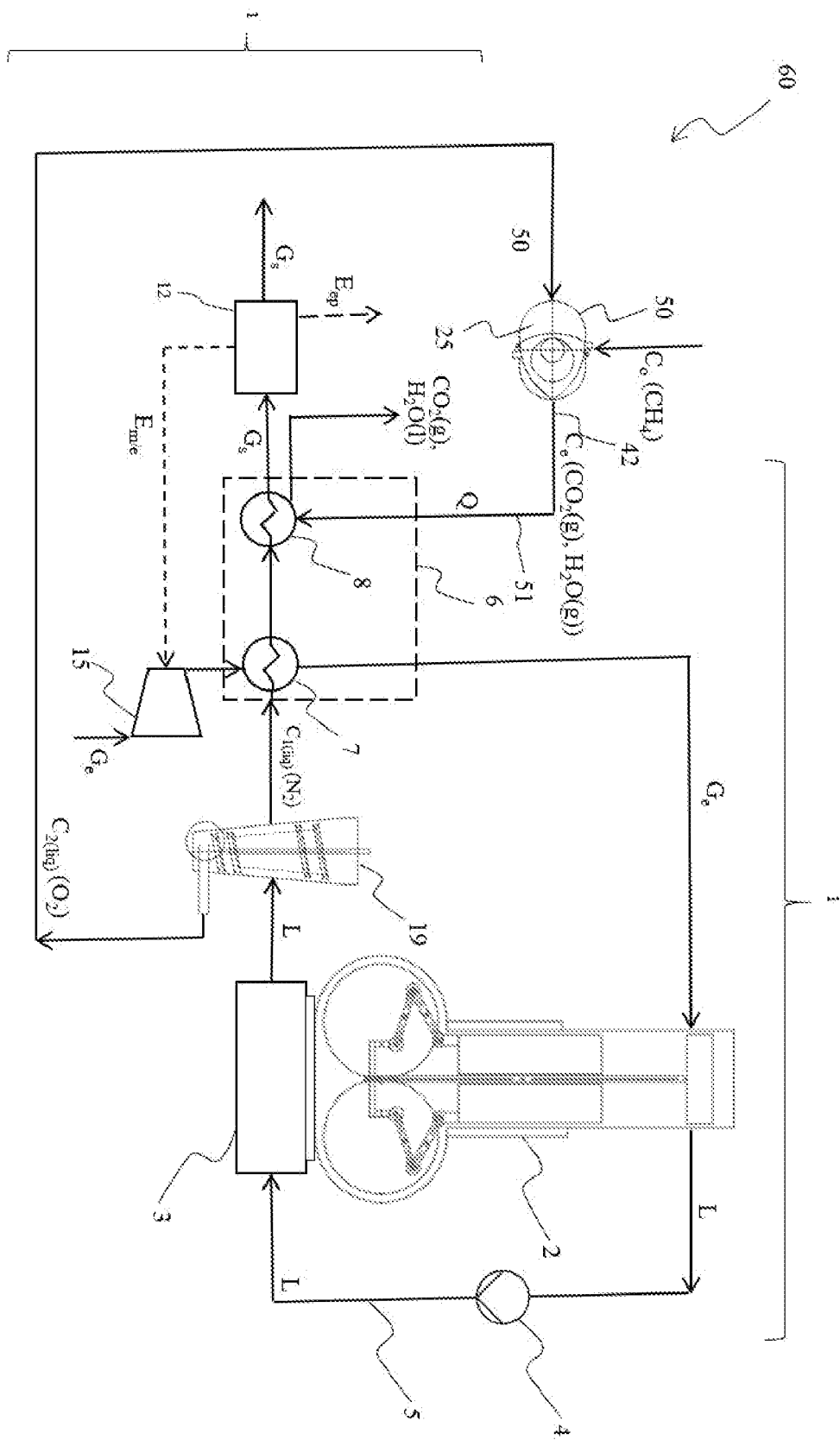
[Fig. 1]



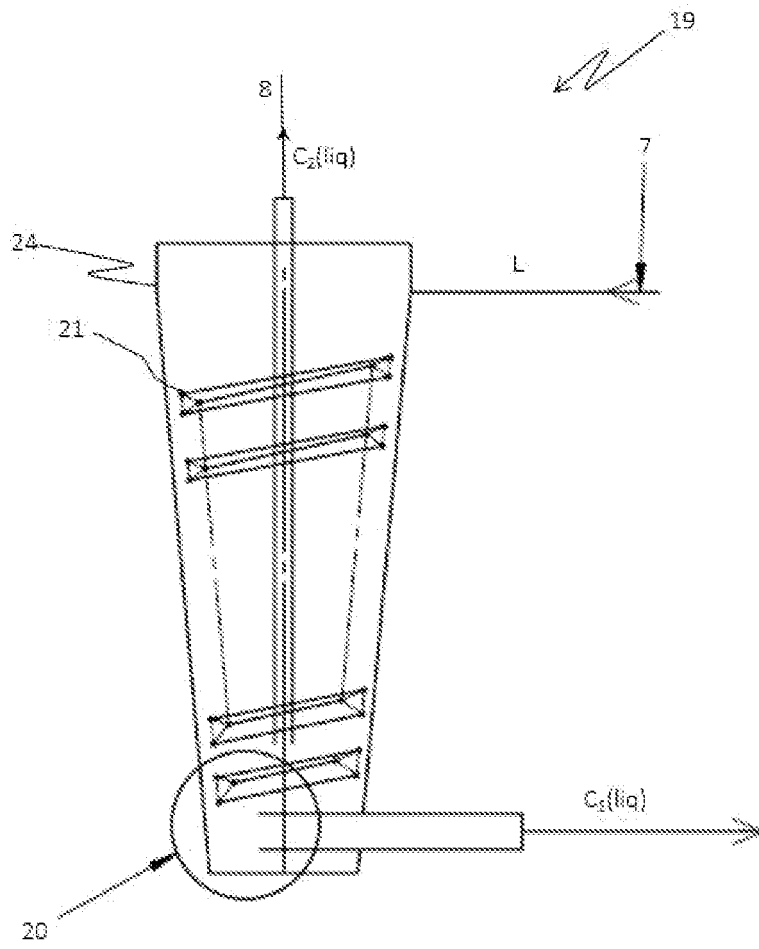
[Fig. 2]



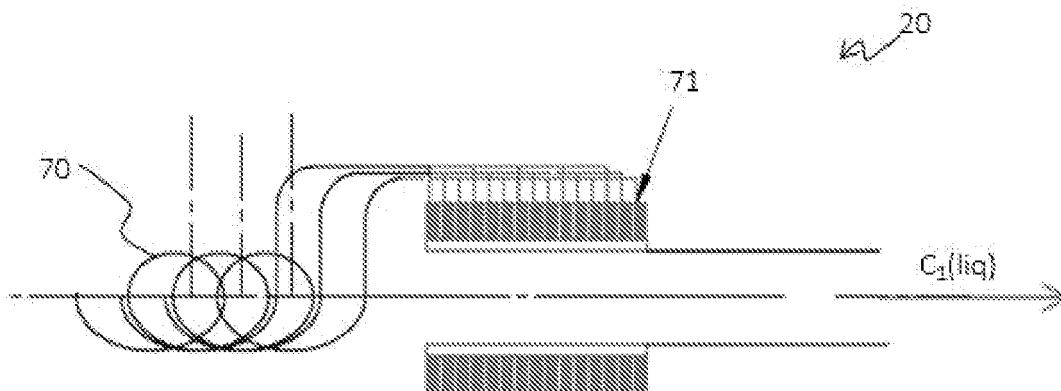
[Fig. 3]



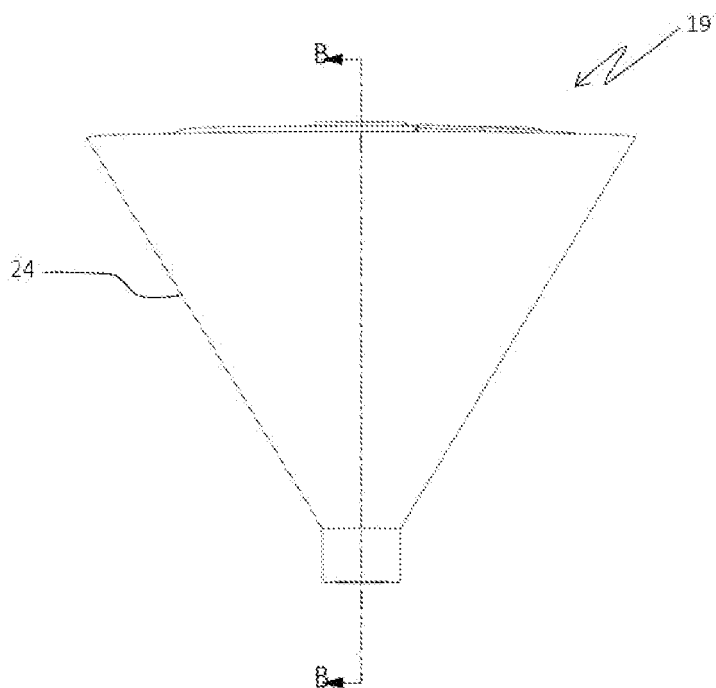
[Fig. 5]



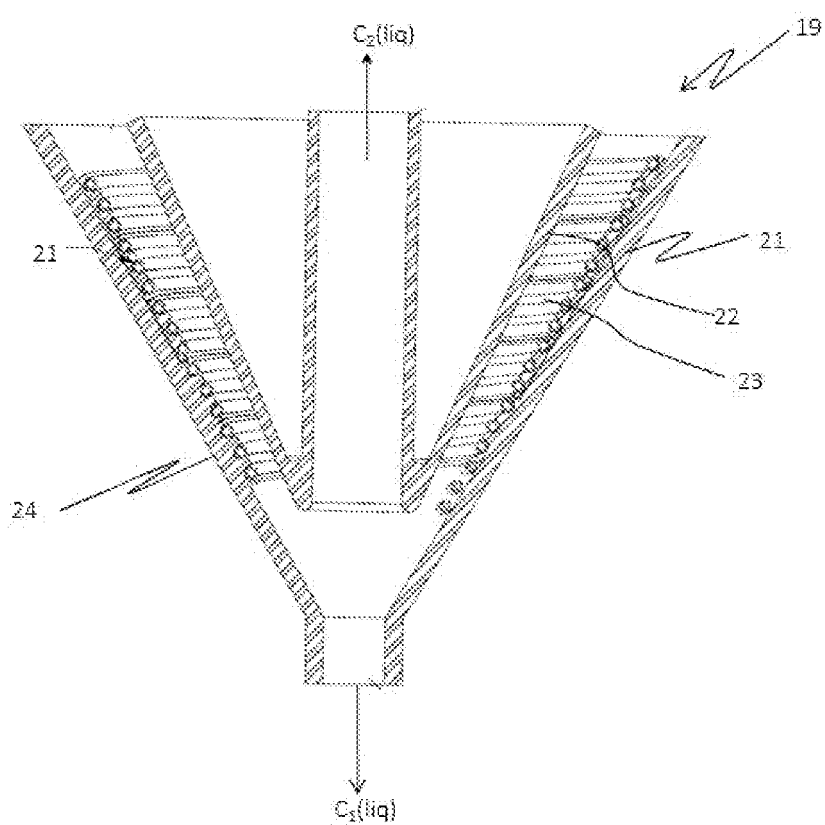
[Fig. 6]



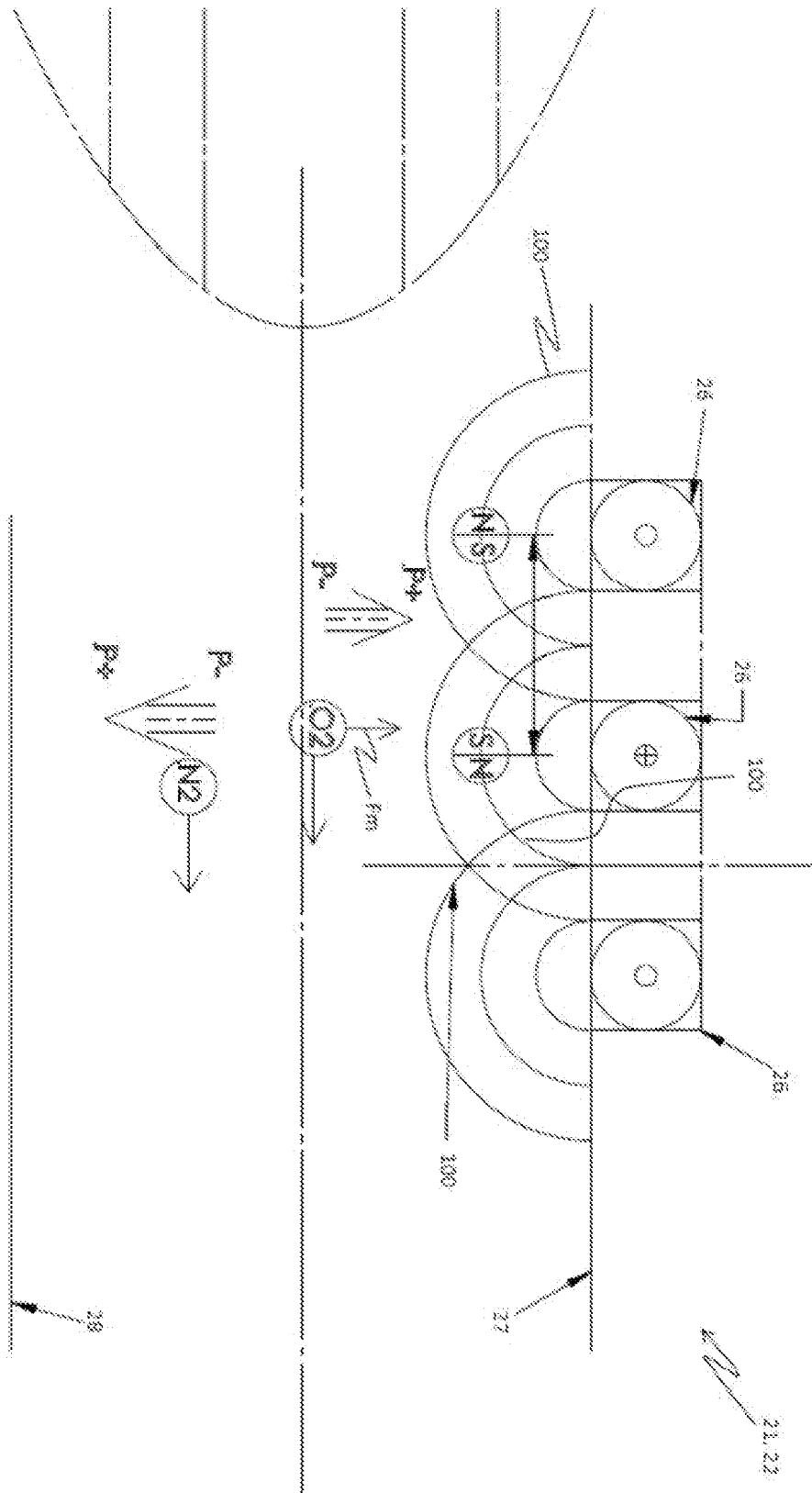
[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

US 2014/157823 A1 (RUBIO CARLOS [MX])
12 juin 2014 (2014-06-12)

WO 2016/091903 A2 (EOSGEN TECHNOLOGIES
[FR]) 16 juin 2016 (2016-06-16)

EP 2 837 873 A2 (AIR LIQUIDE [FR])
18 février 2015 (2015-02-18)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT