

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 05.03.15.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 09.09.16 Bulletin 16/36.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : DAVIDIAN BENOIT.

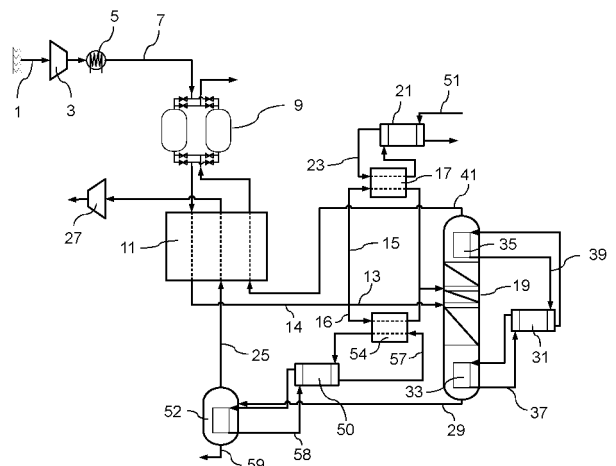
73 Titulaire(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE Société anonyme.

74 Mandataire(s) : L'AIR LIQUIDE.

54 PROCEDE ET APPAREIL DE SEPARATION A TEMPERATURE SUBAMBIANTE.

57 Dans un procédé de séparation d'un mélange gazeux par séparation à température subambiante, une première pompe à chaleur (31), utilisant l'effet magnétocalorique échange de la chaleur entre une source froide à température subambiante et une source chaude à température subambiante, apportant ainsi au moins en partie l'énergie de séparation, une deuxième pompe à chaleur (21), utilisant l'effet magnétocalorique échange de la chaleur entre une source froide (23) à température subambiante et une source chaude à température ambiante apportant ainsi au moins une partie du froid nécessaire au maintien du bilan frigorifique du procédé, un liquide (29) est soutiré du procédé de séparation, puis est vaporisé pour former un produit gazeux (25), une troisième pompe à chaleur (50), utilisant l'effet magnétocalorique, dite pompe à chaleur de vaporisation produit, échange de la chaleur entre une troisième source froide à température subambiante et une troisième source chaude à température subambiante, apportant ainsi au moins en partie l'énergie de vaporisation d'au moins une partie du liquide (29) issu du procédé de séparation, la troisième source froide de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique (50) échange de la chaleur avec au moins une partie du mélange gazeux qui se refroidit, la troisième source chaude de la troisième pompe à cha-

leur utilisant l'effet magnétocalorique (50) échange de la chaleur avec au moins une partie du liquide (29) issu du procédé de séparation qui se vaporise.



5 La présente invention est relative à un procédé et à un appareil de séparation à température subambiante, voire cryogénique. La séparation peut être une séparation par distillation et/ou par déflegmation et/ou par absorption. L'équipement utilisé pour cette séparation sera appelé « colonne ». Ainsi une colonne peut par exemple être une colonne de distillation ou d'absorption. Réduite à sa plus simple expression, elle peut
10 être un séparateur de phases. Sinon une colonne peut également être un appareil où s'effectue une déflegmation.

 La réfrigération magnétique repose sur l'utilisation de matériaux magnétiques présentant un effet magnétocalorique. Réversible, cet effet se traduit par une variation de leur température lorsqu'ils sont soumis à l'application d'un champ magnétique
15 externe. Les plages optimales d'utilisation de ces matériaux se situent au voisinage de leur température de Curie (T_c). En effet, plus les variations d'aimantation, et par conséquent les changements d'entropie magnétique, sont élevés, plus les changements de leur température sont élevés. L'effet magnétocalorique est dit direct lorsque la température du matériau augmente quand il est mis dans un champ magnétique,
20 indirect lorsqu'il se refroidit quand il est mis dans un champ magnétique. La suite de la description sera faite pour le cas direct, mais la transposition au cas indirect est évidente pour l'homme de l'art. Il existe plusieurs cycles thermodynamiques basés sur ce principe. Un cycle classique de réfrigération magnétique consiste i) à magnétiser le matériau pour en augmenter la température ii) à refroidir le matériau à champ
25 magnétique constant pour rejeter de la chaleur iii) à démagnétiser le matériau pour le refroidir et iv) à chauffer le matériau à champ magnétique constant (en général, nul) pour capter la chaleur.

 Un dispositif de réfrigération magnétique met en œuvre des éléments en matériau magnétocalorique, qui génèrent de la chaleur lorsqu'ils sont magnétisés et
30 absorbent de la chaleur lorsqu'ils sont démagnétisés. Il peut mettre en œuvre un régénérateur à matériau magnétocalorique pour amplifier la différence de température

entre la « source chaude » et la « source froide » : on parle alors de réfrigération magnétique à régénération active.

Il est connu d'utiliser l'effet magnétocalorique pour fournir du froid à un procédé de séparation à température subambiante dans EP-A-2551005.

5 US-A- 6502404 décrit l'usage de l'effet magnétocalorique (à la place de l'utilisation classique d'une turbine de détente) pour fournir du froid (nécessaire pour assurer le bilan frigorifique du procédé) à un procédé cryogénique de séparation de gaz de l'air, l'énergie de séparation étant classiquement apportée par l'air sous pression qui permet de faire fonctionner le vaporiseur-condenseur de la double colonne (la colonne
10 basse pression pouvant être réduite à un simple vaporiseur dans le cas d'un générateur d'azote). La séparation (distillation) se fait en partie sous pression, typiquement entre 5 et 6 bara dans la colonne moyenne pression.

Il est connu depuis longtemps d'utiliser un même circuit pour fournir à la fois de la chaleur au rebouilleur d'une colonne de distillation et des frigories au condenseur de
15 cette même colonne. US-A-2916888 montre un exemple pour une distillation d'hydrocarbures.

FR13/58667 décrit une séparation entièrement à très basse pression dans une unique colonne, le fluide à séparer ne véhiculant pas l'énergie (sous forme de pression) utilisée pour la séparation et pour la tenue en froid du procédé. L'énergie pour la
20 séparation et l'énergie pour la tenue en froid sont apportées par des pompes à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique, indépendamment du fluide à séparer et de sa pression. La pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique dite de séparation assure à la fois de rebouillage de la colonne unique, mais aussi la vaporisation du liquide en cuve de la colonne qui est extrait sous forme de produit gazeux.

25 La présente invention adresse le problème de réduire la consommation énergétique de la séparation, en dédiant une pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique à la vaporisation du produit et en conservant une pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique dite de séparation uniquement pour assurer le rebouillage en cuve et le reflux en tête de la colonne unique.

30 Une pompe à chaleur est un dispositif thermodynamique permettant de transférer une quantité de chaleur d'un milieu considéré comme « émetteur » dit « source froide »

d'où l'on extrait la chaleur vers un milieu considéré comme « récepteur » dit « source chaude » où l'on fournit la chaleur, la source froide étant à une température plus froide que la source chaude.

5 Une température ambiante est la température de l'air ambiant dans lequel se situe le procédé, ou encore une température d'un circuit d'eau de refroidissement en lien avec la température d'air.

Une température subambiante est au moins 10°C inférieure à la température ambiante, par exemple inférieure à 0°C.

Une température cryogénique est inférieure à -50°C.

10 Selon un objet de l'invention, il est prévu un procédé de séparation d'un mélange gazeux, par exemple de gaz de l'air, par séparation à température subambiante, voire cryogénique dans lequel

a. au moins une première pompe à chaleur, utilisant l'effet magnétocalorique, dite pompe à chaleur de séparation, échange de la chaleur directement ou
15 indirectement entre une première source froide à température subambiante, voire cryogénique et une première source chaude à température subambiante, voire cryogénique apportant ainsi au moins en partie l'énergie de séparation

b. au moins une deuxième pompe à chaleur, utilisant l'effet magnétocalorique, dite pompe à chaleur de bilan frigorifique, échange de la chaleur directement ou
20 indirectement entre une deuxième source froide à une première température subambiante, voire cryogénique et une deuxième source chaude à une température supérieure à la première température, par exemple à la température ambiante, apportant ainsi au moins une partie du froid nécessaire au maintien du bilan frigorifique du procédé

25 c. la séparation s'effectue dans une colonne unique ou un ensemble de colonnes, la première source froide et la première source chaude étant reliées thermiquement, directement ou indirectement, à la colonne unique ou à une colonne de l'ensemble,

30 d. un liquide est soutiré du procédé de séparation, puis au moins une partie est vaporisé pour former un produit gazeux, éventuellement après pressurisation à une

pression supérieure ou après dépressurisation à une pression inférieure à la pression à laquelle il est soutiré

5 e. au moins une troisième pompe à chaleur, utilisant l'effet magnétocalorique, dite pompe à chaleur de vaporisation produit, échange de la chaleur directement ou indirectement entre une troisième source froide à température subambiante, voire cryogénique et une troisième source chaude à température subambiante, voire cryogénique apportant ainsi au moins en partie l'énergie de vaporisation d'au moins une partie du liquide issu du procédé de séparation

10 caractérisé par le fait que la troisième source froide de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique échange de la chaleur directement ou indirectement avec au moins une partie du mélange gazeux et/ou d'un gaz issu du procédé de séparation qui se refroidit, voire se condense au moins partiellement et que la troisième source chaude de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique échange de la chaleur directement ou indirectement avec au moins une partie du liquide

15 issu du procédé de séparation qui se vaporise.

Selon d'autres caractéristiques facultatives :

- la deuxième source froide est identique à la troisième source froide ;
- au moins deux des pompes à chaleurs utilisant l'effet magnétocalorique sont combinées en une seule machine ;
- 20 - la première pompe à chaleur dite de séparation transfère de la chaleur directement ou indirectement de la tête de colonne, préférentiellement par condensation de gaz de la colonne, vers la cuve de colonne, préférentiellement par vaporisation de liquide de la colonne unique ;
- la première pompe à chaleur dite de séparation transfère de la chaleur
- 25 directement ou indirectement dans une colonne de l'ensemble, préférentiellement par condensation de gaz dans une colonne de l'ensemble, vers une colonne de l'ensemble, préférentiellement par vaporisation de liquide dans une colonne de l'ensemble ;
- un échange thermique est au moins en partie réalisé entre un fluide issu de la séparation de la colonne ou d'une colonne de l'ensemble et un fluide caloporteur ayant
- 30 été en contact avec le matériau magnétocalorique de la deuxième pompe à chaleur à travers un échangeur de chaleur, intégré à la colonne ou à une colonne de l'ensemble ;

- un échange thermique est au moins en partie réalisé entre un fluide issu de la séparation de la colonne ou d'une colonne de l'ensemble et un fluide caloporteur ayant été en contact avec le matériau magnétocalorique de la troisième pompe à chaleur à travers un échangeur de chaleur, intégré à la colonne ou à une colonne de l'ensemble ;

5 - la séparation s'effectue dans une colonne unique ou un ensemble de colonnes, la pression de la colonne unique ou des colonnes de l'ensemble étant inférieure à 2 bara, préférentiellement inférieure à 1,5 bara, préférentiellement à au moins une pression qui ne diffère de la pression atmosphérique que par les pertes de charges des éléments reliant la ou les colonnes avec l'atmosphère ;

10 - le mélange est de l'air ;

- le procédé produit comme produit final au moins un gaz enrichi en un composant du mélange ;

- le procédé produit comme produit final au moins un liquide enrichi en un composant du mélange ;

15 - le liquide soutiré est un fluide enrichi en oxygène ;

- le liquide soutiré est comprimé par hauteur hydrostatique avant envoi vers le vaporiseur produit ;

- le rebouilleur en cuve est un rebouilleur à film.

Selon un autre objet de l'invention, il est prévu un appareil de séparation d'un
20 mélange gazeux, par exemple de gaz de l'air, par un procédé de séparation à température subambiante, voire cryogénique comprenant une colonne unique ou un ensemble de colonnes où s'effectue la séparation subambiante, voire cryogénique, des moyens pour envoyer un mélange, par exemple de gaz de l'air, vers la colonne ou une colonne de ensemble, des moyens pour soutirer au moins un fluide enrichi en un
25 composant du mélange de la colonne ou une colonne de ensemble, au moins une première pompe à chaleur, utilisant l'effet magnétocalorique, dite pompe à chaleur de séparation, pour échanger de la chaleur directement ou indirectement entre une première source froide à température subambiante, voire cryogénique et une première source chaude à température subambiante, voire cryogénique apportant ainsi au moins
30 en partie l'énergie de séparation, la première source froide et la première source chaude étant reliées thermiquement, directement ou indirectement, à la colonne unique ou à

une colonne de l'ensemble, au moins une deuxième pompe à chaleur, utilisant l'effet magnéto-calorique, dite pompe à chaleur de bilan frigorifique, pour échanger de la chaleur directement ou indirectement entre une deuxième source froide à une première température subambiante, voire cryogénique et une deuxième source chaude à une

5 température supérieure à la première température, par exemple à la température ambiante, apportant ainsi au moins une partie du froid nécessaire au maintien du bilan frigorifique du procédé, des moyens pour soutirer un liquide du procédé de séparation, puis des moyens pour au moins en partie le vaporiser et former un produit gazeux, éventuellement après pressurisation à une pression supérieure ou après

10 dépressurisation à une pression inférieure à la pression à laquelle il est soutiré, au moins une troisième pompe à chaleur, utilisant l'effet magnéto-calorique, dite pompe à chaleur de vaporisation produit, échange de la chaleur directement ou indirectement entre une troisième source froide à température subambiante, voire cryogénique et une

15 troisième source chaude à température subambiante, voire cryogénique apportant ainsi au moins en partie l'énergie de vaporisation d'au moins une partie du liquide issu du procédé de séparation, la troisième source froide de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnéto-calorique échangeant de la chaleur directement ou indirectement avec au moins une partie du mélange de gaz de l'air et/ou d'un gaz issu du procédé de

20 séparation qui se refroidit, voire se condense au moins partiellement et la troisième source chaude de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnéto-calorique échangeant de la chaleur directement ou indirectement avec au moins une partie du liquide issu du procédé de séparation qui se vaporise.

Selon d'autres objets facultatifs :

- la deuxième pompe à chaleur, dite de bilan frigorifique condense directement ou

25 indirectement un fluide issu de la colonne unique ou d'une colonne de l'ensemble à travers un échangeur de chaleur intégré à la colonne unique ou d'une colonne de l'ensemble ;

- la troisième pompe à chaleur, dite de vaporisation produit condense directement ou indirectement un fluide issu de la colonne unique ou d'une colonne de l'ensemble à

30 travers un échangeur de chaleur intégré à la colonne unique ou d'une colonne de l'ensemble ;

- la pression de la colonne unique ou des colonnes de l'ensemble étant inférieure à 2 bara, préférentiellement inférieure à 1.5 bara, de sorte que la colonne est ou les colonnes sont reliée(s) à l'atmosphère par au moins un conduit ne comprenant pas de moyens de détente ;

5 - l'appareil comprend des moyens pour soutirer un produit liquide en tête ou cuve de colonne unique ou d'une colonne de l'ensemble ;

- l'appareil comprend des moyens pour soutirer un produit gazeux en tête ou en cuve de la colonne unique ou d'une colonne de l'ensemble.

La figure 1 décrit l'état de l'art tel que décrit dans FR13/58667.

10 L'invention sera décrite de manière plus détaillée en se référant à la figure 2.

Dans la Figure 1, un débit d'air gazeux 1 est comprimé dans un compresseur 3 et refroidi dans un refroidisseur 5 pour former de l'air comprimé et refroidi 7. Cet air refroidi 7 est épuré dans une unité d'épuration 9 pour enlever de l'eau et du dioxyde de carbone et d'autres impuretés. L'air épuré est ensuite refroidi dans un échangeur de chaleur 11 à
15 plaques et à ailettes. L'air refroidi 14 dans l'échangeur 11 est divisé en deux parties 13,15. La partie 13 est envoyée au milieu d'une simple colonne de distillation 19 où elle se sépare pour former du gaz enrichi en azote 41 en haut de la colonne 19 et un liquide enrichi en oxygène 29 en cuve de la colonne 19.

La partie 15 de l'air (source froide indirecte de la deuxième pompe à chaleur) est
20 condensé au moins partiellement dans un échangeur de chaleur 17 par échange de chaleur avec un débit de fluide 23 qui se refroidit au moyen d'une deuxième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 21. Un fluide 51 de refroidissement (source chaude de la deuxième pompe à chaleur), typiquement de l'air ambiant ou de l'eau de refroidissement est envoyé à la deuxième pompe à chaleur utilisant l'effet
25 magnétocalorique 21. La colonne comprend un rebouilleur de cuve 33 et un condenseur de tête 35. Le rebouilleur (le liquide rebouilli dans le rebouilleur est la source chaude indirecte de la première pompe à chaleur) est chauffé au moyen d'un circuit de fluide 37 en lien avec une première pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 31. Cette première pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 31 sert également à refroidir
30 un fluide 39 qui réchauffe le condenseur de tête 35 (le gaz condensé dans le condenseur est la source froide indirecte de la première pompe à chaleur). Les fluides

37 et 39 peuvent être identiques ou différents. Un liquide 29 enrichi en oxygène est soutiré en cuve de la colonne 19 et un gaz 41 enrichi en azote se réchauffe dans l'échangeur 11 et sert, au moins en partie, ensuite à régénérer l'unité d'épuration 9. Un gaz 25 enrichi en oxygène est soutiré en cuve de la colonne 19, se réchauffe dans l'échangeur 11 et est comprimé par un compresseur 27.

Dans la Figure 2, un débit d'air gazeux 1 est comprimé dans un compresseur 3 et refroidi dans un refroidisseur 5 pour former de l'air comprimé et refroidi 7. Cet air refroidi 7 est épuré dans une unité d'épuration 9 pour enlever de l'eau et du dioxyde de carbone et d'autres impuretés. L'air épuré est ensuite refroidi dans un échangeur de chaleur 11 à plaques et à ailettes. L'air refroidi 14 dans l'échangeur 11 est divisé en trois parties 13, 15 et 16. La partie 13 est envoyée au milieu d'une simple colonne de distillation 19 où elle se sépare pour former du gaz enrichi en azote 41 en haut de la colonne 19 et un liquide enrichi en oxygène 29 en cuve de la colonne 19.

La partie 15 de l'air (source froide indirecte de la deuxième pompe à chaleur) est condensée au moins partiellement dans un échangeur de chaleur 17 par échange de chaleur avec un débit de fluide 23 qui se refroidit au moyen d'une deuxième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 21, puis envoyée dans la colonne 19. Un fluide 51 de refroidissement (source chaude de la deuxième pompe à chaleur), typiquement de l'air ambiant ou de l'eau de refroidissement est envoyé à la deuxième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 21. La partie 16 de l'air (source froide indirecte de la troisième pompe à chaleur) est condensée au moins partiellement dans un échangeur de chaleur 54 par échange de chaleur avec un débit de fluide 57 qui se refroidit au moyen d'une troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 50, puis envoyée dans la colonne 19, éventuellement mélangée à la partie 15. La colonne 19 comprend un rebouilleur de cuve 33 et un condenseur de tête 35. Le rebouilleur (le liquide rebouilli dans le rebouilleur est la source chaude indirecte de la première pompe à chaleur) est chauffé au moyen d'un circuit de fluide 37 en lien avec une première pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 31. Cette première pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 31 sert également à refroidir un fluide 39 qui réchauffe le condenseur de tête 35 (le gaz condensé dans le condenseur est la source froide indirecte de la première pompe à chaleur). Les fluides 37 et 39 peuvent être identiques

ou différents. Un liquide 29 enrichi en oxygène est soutiré en cuve de la colonne 19 et un gaz 41 enrichi en azote se réchauffe dans l'échangeur 11 et sert, au moins en partie, ensuite à régénérer l'unité d'épuration 9. Le liquide 29 enrichi en oxygène est envoyé, après éventuelle compression par pompe ou hauteur hydrostatique, vers un vaporiseur de produit 52 où il est vaporisé, au moins partiellement, en un gaz 25 enrichi en oxygène par échange de chaleur avec un débit de fluide 58. Un liquide enrichi en oxygène 59 est soutiré du vaporiseur de produit 52. Le fluide 58 se réchauffe au moyen de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 50. Les fluides 57 et 58 peuvent être identiques ou différents. Le gaz 25 enrichi en oxygène se réchauffe dans l'échangeur 11 et est comprimé par un compresseur 27.

La troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 50 dédiée à la vaporisation du gaz 25 enrichi en oxygène fonctionne avec un écart de température entre source froide et source chaude réduit par rapport à l'état de l'art de la figure 1, la source froide de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 50 en lien avec la partie 16 de l'air étant plus chaude que la source froide de la première pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 31 en lien avec le gaz enrichi en azote en tête de la colonne 19. Ceci permet de réduire la consommation énergétique de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 50.

De plus, le rebouilleur de cuve 33 de la colonne 19 étant très purgé, le taux de concentration en impuretés est faible, ce qui permet d'utiliser une technologie de rebouilleur à film à faible écart, réduisant l'écart de température entre source froide et source chaude de la première pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 31, et donc réduisant encore l'énergie de première pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 31, dédiée à la distillation.

La troisième source froide de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique 50, au lieu de ou en plus d'échanger de la chaleur directement ou indirectement avec au moins une partie 16 du mélange gazeux, peut échanger de la chaleur avec un gaz issu du procédé de séparation. Ce gaz va ainsi se refroidir, voire se condense au moins partiellement. Le gaz peut, par exemple, être un gaz enrichi en azote ou en oxygène provenant de la colonne 19, le gaz condensé pouvant être renvoyé à la colonne pour fournir du reflux.

Revendications

- 5 1. Procédé de séparation d'un mélange gazeux, par exemple de gaz de l'air, par séparation à température subambiante, voire cryogénique dans lequel
- a) au moins une première pompe à chaleur (31), utilisant l'effet magnétocalorique, dite pompe à chaleur de séparation, échange de la chaleur directement ou indirectement entre une première source froide (39) à température
10 subambiante, voire cryogénique et une première source chaude (37) à température subambiante, voire cryogénique apportant ainsi au moins en partie l'énergie de séparation
- b) au moins une deuxième pompe à chaleur (21), utilisant l'effet magnétocalorique, dite pompe à chaleur de bilan frigorifique, échange de la chaleur
15 directement ou indirectement entre une deuxième source froide (23) à une première température subambiante, voire cryogénique et une deuxième source chaude (51) à une température supérieure à la première température, par exemple à la température ambiante, apportant ainsi au moins une partie du froid nécessaire au maintien du bilan frigorifique du procédé
- 20 c) la séparation s'effectue dans une colonne unique (19) ou un ensemble de colonnes, la première source froide et la première source chaude étant reliées thermiquement, directement ou indirectement, à la colonne unique (19) ou à la même colonne de l'ensemble,
- d) un liquide (29) est soutiré du procédé de séparation, puis au moins en
25 partie est vaporisé pour former un produit gazeux (25), éventuellement après pressurisation à une pression supérieure ou après dépressurisation à une pression inférieure à la pression à laquelle il est soutiré
- e) au moins une troisième pompe à chaleur (50), utilisant l'effet magnétocalorique, dite pompe à chaleur de vaporisation produit, échange de la chaleur
30 directement ou indirectement entre une troisième source froide (57) à température subambiante, voire cryogénique et une troisième source chaude (58) à température

subambiante, voire cryogénique apportant ainsi au moins en partie l'énergie de vaporisation d'au moins une partie du liquide (29) issu du procédé de séparation

5 caractérisé par le fait que la troisième source froide de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique (50) échange de la chaleur directement ou indirectement avec au moins une partie (16) du mélange gazeux et/ou d'un gaz issu du procédé de séparation qui se refroidit, voire se condense au moins partiellement et que la troisième source chaude de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique (50) échange de la chaleur directement ou indirectement avec au
10 moins une partie du liquide (29) issu du procédé de séparation qui se vaporise .

2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel la deuxième source froide est identique à la troisième source froide

15 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2 dans lequel au moins deux des pompes à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique (21, 31, 50) sont combinées en une seule machine.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel la pression de la colonne unique ou des colonnes de l'ensemble étant inférieure à 2 bara, préférentiellement inférieure à 1,5 bara, préférentiellement à au moins une pression qui ne diffère de la pression atmosphérique que par les pertes de charges des éléments reliant la ou les colonnes avec l'atmosphère,

25 5. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel le mélange est de l'air.

6. Appareil de séparation d'un mélange de gaz de l'air par un procédé de séparation à température subambiante, voire cryogénique comprenant une colonne
30 unique (19) ou un ensemble de colonnes où s'effectue la séparation subambiante, voire cryogénique, des moyens pour envoyer un mélange de gaz de l'air vers la colonne ou

une colonne de ensemble, des moyens pour soutirer au moins un fluide enrichi en un composant du mélange de la colonne, au moins une première pompe à chaleur (31), utilisant l'effet magnétocalorique, dite pompe à chaleur de séparation, pour échanger de la chaleur directement ou indirectement entre une source froide à température subambiante, voire cryogénique et une source chaude à température subambiante, voire cryogénique apportant ainsi au moins en partie l'énergie de séparation, la première source froide et la première source chaude étant reliées thermiquement, directement ou indirectement, à la colonne unique ou à une colonne de l'ensemble, au moins une deuxième pompe à chaleur (21), utilisant l'effet magnétocalorique, dite pompe à chaleur de bilan frigorifique, pour échanger de la chaleur directement ou indirectement entre une source froide à une première température subambiante, voire cryogénique et une source chaude à température supérieure à la première température, par exemple à la température ambiante, apportant ainsi au moins une partie du froid nécessaire au maintien du bilan frigorifique du procédé, des moyens pour soutirer un liquide (29) du procédé de séparation, puis des moyens (52) pour au moins en partie le vaporiser et former un produit gazeux (25), éventuellement après pressurisation à une pression supérieure ou après dépressurisation à une pression inférieure à la pression à laquelle il est soutiré, au moins une troisième pompe à chaleur (50), utilisant l'effet magnétocalorique, dite pompe à chaleur de vaporisation produit, échange de la chaleur directement ou indirectement entre une troisième source froide (57) à température subambiante, voire cryogénique et une troisième source chaude (58) à température subambiante, voire cryogénique apportant ainsi au moins en partie l'énergie de vaporisation d'au moins une partie du liquide (29) issu du procédé de séparation, la troisième source froide de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique (50) échangeant de la chaleur directement ou indirectement avec au moins une partie (16) du mélange de gaz de l'air et/ou d'un gaz issu du procédé de séparation qui se refroidit, voire se condense au moins partiellement et la troisième source chaude de la troisième pompe à chaleur utilisant l'effet magnétocalorique (50) échangeant de la chaleur directement ou indirectement avec au moins une partie du liquide (29) issu du procédé de séparation qui se vaporise.

1/2

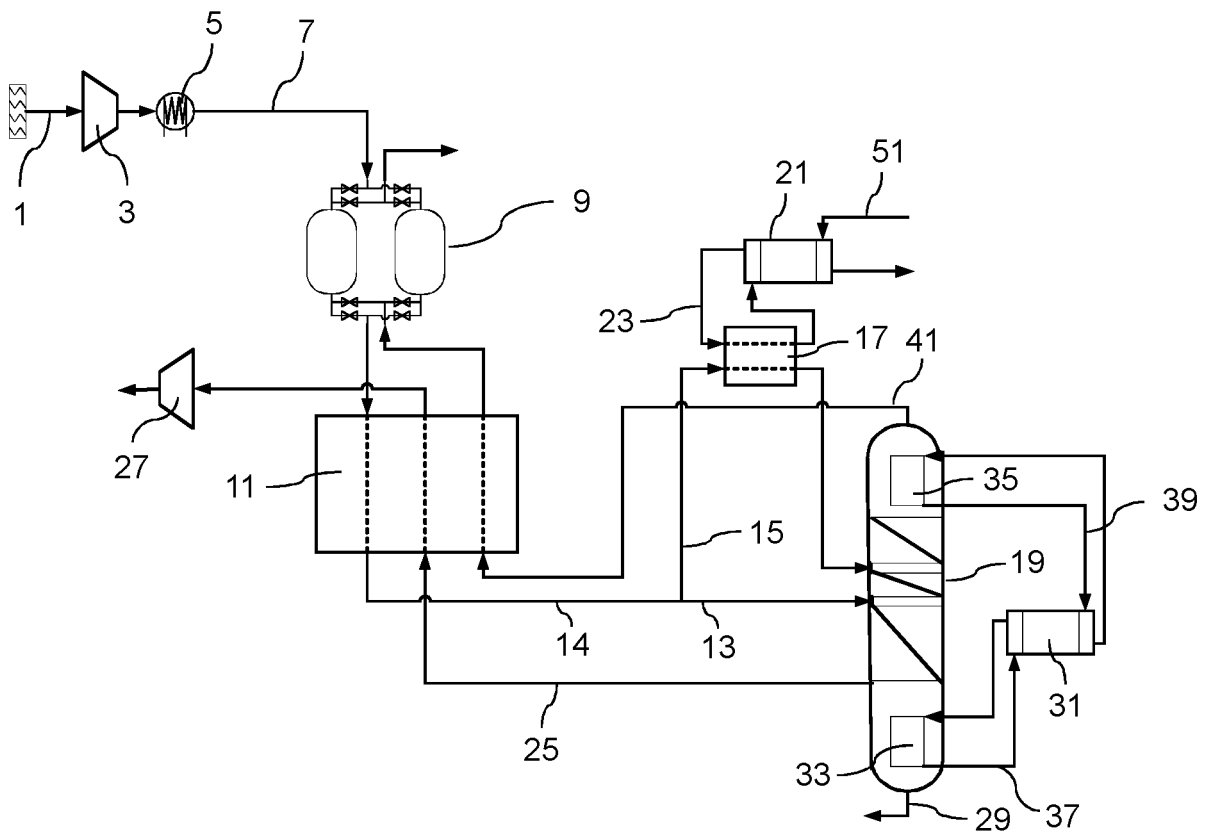


FIGURE 1

2/2

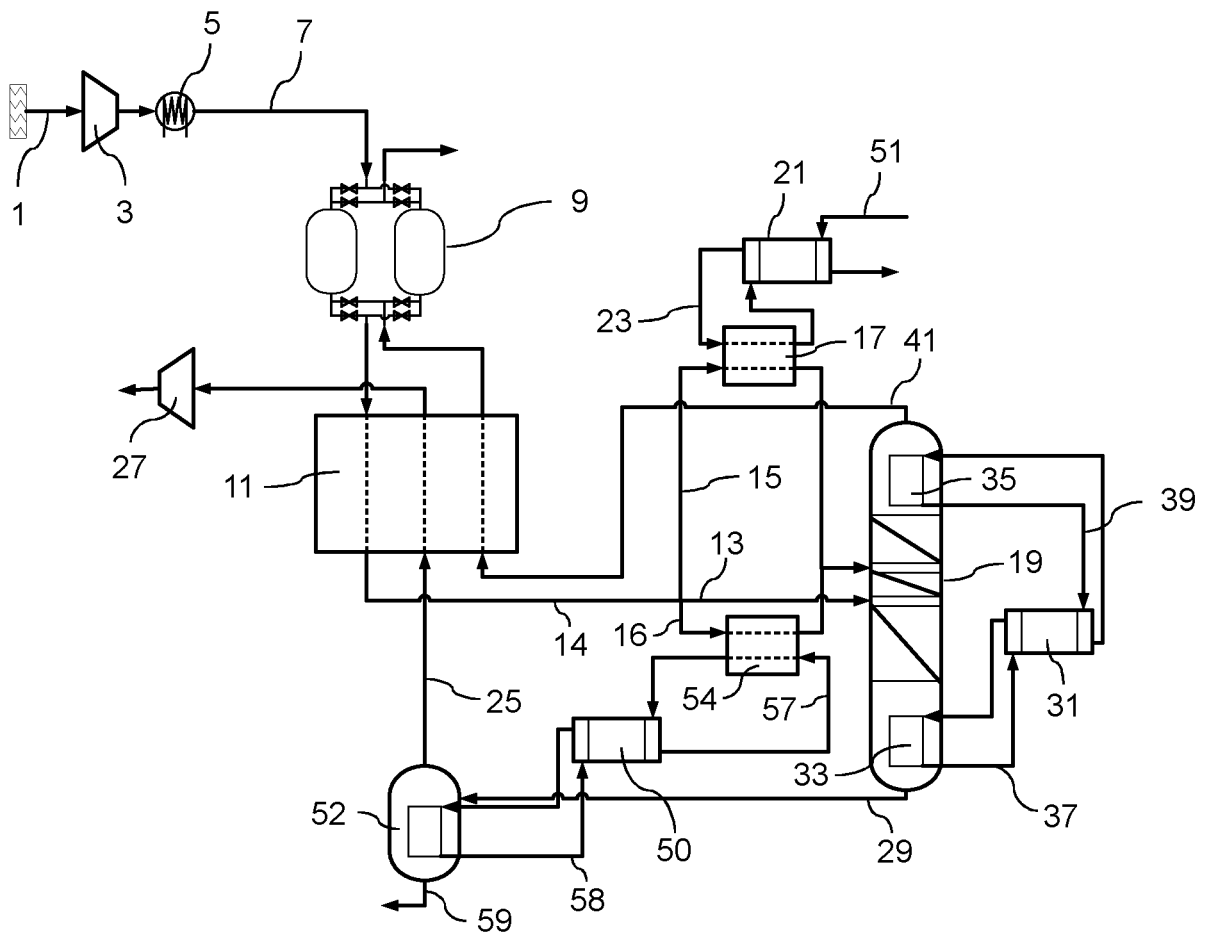


FIGURE 2



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 806821
FR 1551870

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	US 4 987 744 A (HANDLEY JAMES R [US] ET AL) 29 janvier 1991 (1991-01-29) * figures 1,2 *	1-6	B01D3/32 F25J5/00
Y	US 2008/016907 A1 (BARCLAY JOHN ARTHUR [US] ET AL) 24 janvier 2008 (2008-01-24) * alinéas [0006] - [0027]; figure 2 *	1-6	
Y	US 6 336 331 B1 (WHITE NORMAN HENRY [US] ET AL) 8 janvier 2002 (2002-01-08) * figures 1-3 *	1-6	
Y	US 6 502 404 B1 (ARMAN BAYRAM [US] ET AL) 7 janvier 2003 (2003-01-07) * figures 6,7 *	1-6	
A	US 2010/011810 A1 (MAK JOHN [US] ET AL) 21 janvier 2010 (2010-01-21) * figures 1,2 *	1-6	
A	US 4 345 925 A (CHEUNG HARRY) 24 août 1982 (1982-08-24) * figure 4 *	1-6	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F25J
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
29 janvier 2016		Schopfer, Georg	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1551870 FA 806821**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 29-01-2016

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4987744	A	29-01-1991	CA 2034945 A1 US 4987744 A	27-07-1991 29-01-1991

US 2008016907	A1	24-01-2008	AUCUN	

US 6336331	B1	08-01-2002	BR 0103073 A CN 1336530 A EP 1178272 A1 KR 20020011333 A US 6336331 B1	09-04-2002 20-02-2002 06-02-2002 08-02-2002 08-01-2002

US 6502404	B1	07-01-2003	AUCUN	

US 2010011810	A1	21-01-2010	AU 2006269696 A1 CA 2614414 A1 EA 200800270 A1 EP 1904800 A1 PE 04082007 A1 US 2010011810 A1 WO 2007008254 A1	18-01-2007 18-01-2007 28-04-2008 02-04-2008 25-04-2007 21-01-2010 18-01-2007

US 4345925	A	24-08-1982	AU 545677 B2 AU 7785681 A BR 8107591 A CA 1156924 A DE 3146335 A1 FR 2494824 A1 GB 2088542 A US 4345925 A ZA 8107616 A	25-07-1985 03-06-1982 17-08-1982 15-11-1983 09-06-1982 28-05-1982 09-06-1982 24-08-1982 27-10-1982
