



(51) Classification internationale des brevets :
F25J 3/04 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2014/053187

(22) Date de dépôt international :
5 décembre 2014 (05.12.2014)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1362152 5 décembre 2013 (05.12.2013) FR

(71) Déposant : L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ ANONYME
POUR L'ÉTUDE ET L'EXPLOITATION DES PRO-
CEDES GEORGES CLAUDE [FR/FR]; 75, Quai d'Or-
say, F-75007 Paris (FR).

(72) Inventeur : DEMOLLIENS, Bertrand; 59, rue de Lyon,
F-75012 Paris (FR).

(74) Mandataire : MERCEY, Fiona; L'Air Liquide S.A., Dé-
partement de la Propriété Intellectuelle, 75, Quai d'Orsay,
F-75321 Paris Cedex 07 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,

AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))

(54) Title : METHOD AND DEVICE FOR SEPARATING AIR BY CRYOGENIC DISTILLATION

(54) Titre : PROCÉDÉ ET APPAREIL DE SÉPARATION D'AIR PAR DISTILLATION CRYOGÉNIQUE

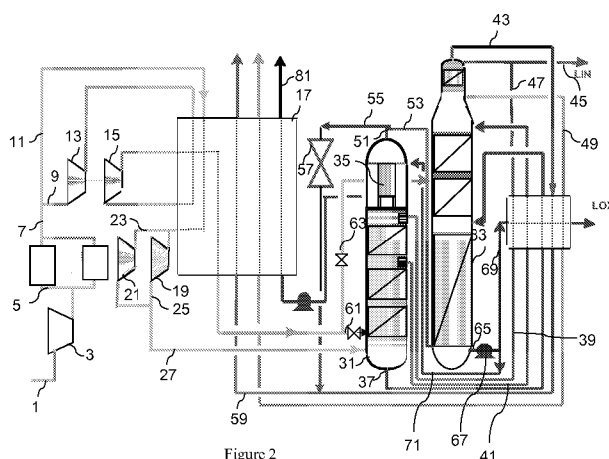


Figure 2

(57) Abstract : The invention relates to a method for separating air by cryogenic distillation in which air (1, 7) is compressed to a first pressure, purified, cooled in a heat exchanger (17) and sent for separation to a double column (31, 33), at least one portion (9) of the purified air exits at an intermediate level of the heat exchanger, is supercharged in at least one supercharger (13, 15), having a variable compression rate at an intermediate temperature of the heat exchanger, is sent back to the heat exchanger in order to cool down and is sent to the system of columns, and if the compression rate of the at least one supercharger is above a threshold, no flow of gaseous oxygen (55) is drawn from the system of columns and if the compression rate of the at least one supercharger is below the threshold, a flow of gaseous oxygen is drawn from the low-pressure column (33) and reheated in the heat exchanger.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



Dans un procédé de séparation d'air par distillation cryogénique, de l'air (1,7) est comprimé à une première pression, épuré, refroidi dans un échangeur de chaleur (17) et envoyé pour être séparé dans une double colonne (31,33), au moins une partie (9) de l'air épuré sort à un niveau intermédiaire de l'échangeur de chaleur, est surpressée dans au moins un surpresseur (13,15), ayant un taux de compression variable à une température intermédiaire de l'échangeur de chaleur, est renvoyée à l'échangeur de chaleur pour se refroidir et est envoyée au système de colonnes et si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est au dessus d'un seuil, on ne soutire pas de débit d'oxygène gazeux (55) du système de colonnes et si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est en dessous du seuil, un débit d'oxygène gazeux est soutiré de la colonne basse pression(33)et se réchauffe dans l'échangeur de chaleur.

Procédé et appareil de séparation d'air par distillation cryogénique

5 La présente invention est relative à un procédé et à un appareil de séparation d'air par distillation cryogénique.

En particulier, elle concerne un procédé de séparation d'air dans lequel un liquide produit par la distillation de l'air se vaporise dans un échangeur de chaleur par échange de chaleur avec de l'air, au moins une partie de cet air ayant été
10 comprimée dans un compresseur ayant une température d'entrée inférieure à la température ambiante, dit « surpresseur froid ».

Le diagramme d'échange d'un appareil de séparation d'air utilisant un procédé à surpresseur froid, illustré à la Figure 1, se caractérise principalement par la présence de deux paliers décalés de liquéfaction de l'air (L) et de vaporisation de
15 l'oxygène (V).

Il suffit alors d'une seule machine principale de compression d'air que l'on nommera MAC HP (« main air compressor –high pressure » ou « compresseur d'air principal-haute pression ») refoulant à 15-25 bars. Généralement, une ASU est constituée d'un MAC refoulant à environ 6 bars et d'un surpresseur d'air BAC
20 aspirant à 6 bars et comprimant cet air à une pression telle que la température de liquéfaction de l'air HP est égale à la température de vaporisation de l'oxygène à l'approche près (cas des paliers face à face) .

On différenciera le surpresseur suivant le MAC, le BAC, un compresseur entraînée par une énergie extérieure au procédé (exemple : moteur, turbine à
25 vapeur, turbine à gaz...etc) d'un surpresseur dit en anglais « booster » entraîné par une énergie récupérée au sein du procédé (détente d'un gaz).

FR-A-2895068 décrit un procédé dans lequel une colonne de mélange peut arrêter de fonctionner, auquel cas le taux de compression d'un surpresseur augmente afin de vaporiser plus d'oxygène liquide provenant de la colonne basse
30 pression d'une double colonne.

FR-A-2831249 décrit un procédé dans lequel en cas de panne d'un surpresseur à température entrée au-dessus de 0°C, on soutire de l'oxygène gazeux en cuve de la colonne basse pression.

Ces procédés ne prévoient pas de détecter directement la variation du taux de compression d'un surpresseur et donc ne permettent pas une régulation fine du procédé.

Selon un objet de l'invention, il est prévu un procédé de séparation d'air par distillation cryogénique dans lequel :

i) de l'air est comprimé à une première pression, épuré, refroidi dans un échangeur de chaleur et envoyé pour être séparé dans un système de colonnes comprenant une première colonne (31) opérant à une première pression et une deuxième colonne (33) opérant à une deuxième pression, la deuxième pression étant inférieure à la première pression, les deux colonnes étant thermiquement reliées entre elles au moyen d'un vaporiseur-condenseur (35)

ii) au moins une partie de l'air épuré sort à un niveau intermédiaire de l'échangeur de chaleur, est surpressée dans au moins un surpresseur, éventuellement dans deux surpresseurs en série, ayant un taux de compression variable à une température intermédiaire de l'échangeur de chaleur, est renvoyée à l'échangeur de chaleur pour se refroidir et est envoyée au système de colonnes

iii) un débit liquide riche en oxygène est soutiré du système de colonnes, pressurisé et vaporisé dans l'échangeur de chaleur pour former un produit gazeux riche en oxygène et

a) si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est au dessus d'un seuil, on ne soutire pas de débit d'oxygène gazeux du système de colonnes et si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est en dessous du seuil, un débit d'oxygène gazeux est soutiré de la cuve de la deuxième colonne et/ou du vaporiseur-condenseur et se réchauffe dans l'échangeur de chaleur ou

b) si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est au dessus d'un seuil, on soutire un premier débit d'oxygène gazeux égal à au plus 2 % du produit gazeux (81) riche en oxygène qui se réchauffe dans l'échangeur de chaleur et si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est en dessous du seuil, un débit d'oxygène gazeux supérieur au premier débit est soutiré de la cuve de la deuxième colonne et/ou du vaporiseur-condenseur et se réchauffe dans l'échangeur de chaleur et dans lequel

c) seule une partie (9) de l'air épuré est surpressée dans le surpresseur ou les surpresseurs (13,15), une autre partie (11) de l'air est refroidie dans l'échangeur de chaleur (17) et détendue dans une turbine couplée au surpresseur ou dans des turbines (19,21) couplées aux surpresseurs et on détecte le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs (13,15) en mesurant le débit d'air détendu dans la turbine ou les turbines (19,21) et/ou

d) en mesurant la pression de l'air en amont et en aval du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs (13,15), on détecte le taux de compression de celui-ci ou de ceux-ci.

10 Selon d'autres objets facultatifs :

- si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est au dessus d'un seuil, on ne produit pas de liquide comme produit final ou on produit une première quantité de liquide comme produit final et si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est en dessous du seuil, on produit du liquide comme produit final ou on produit une quantité de liquide comme produit final supérieure à la première quantité.

- on soutire un débit enrichi en azote du système de colonnes, on mélange le débit d'oxygène gazeux avec le débit enrichi en azote pour former un débit mélangé et on réchauffe le débit mélangé dans l'échangeur de chaleur.

- le débit d'oxygène gazeux ou le débit mélangé est envoyé à l'air.

- le débit d'oxygène gazeux, soutiré en cas de taux de compression du surpresseur trop bas, constitue au plus 10% du produit gazeux riche en oxygène.

- si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est au dessus d'un seuil, on produit un premier débit de produit gazeux riche en oxygène en soutirant un liquide riche en oxygène du système de colonnes et en le vaporisant dans l'échangeur de chaleur et si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est en dessous du seuil, on produit un débit de produit gazeux riche en oxygène réduit par rapport au premier débit

Selon un autre objet de l'invention, il est prévu un appareil de séparation d'air par distillation cryogénique comprenant un échangeur de chaleur, un système de colonnes comprenant une première colonne opérant à une première pression et une deuxième colonne opérant à une deuxième pression, la deuxième pression étant

inférieure à la première pression, les deux colonnes étant thermiquement reliées entre elles au moyen d'un vaporiseur-condenseur, au moins un surpresseur ayant un taux de compression variable, une conduite pour envoyer de l'air comprimé à une première pression, épuré et refroidi de l'échangeur de chaleur au système de colonnes pour être séparé, des moyens pour sortir au moins une partie de l'air épuré à un niveau intermédiaire de l'échangeur de chaleur et pour l'envoyer au surpresseur ou aux surpresseurs en série à une température intermédiaire de l'échangeur de chaleur, des moyens pour renvoyer l'air surpressé dans le surpresseur ou les surpresseurs à l'échangeur de chaleur pour se refroidir et être envoyée au système de colonnes, une conduite pour soutirer un débit liquide du système de colonnes, des moyens pour pressuriser le débit liquide et une conduite pour envoyer le débit liquide pressurisé se vaporiser dans l'échangeur de chaleur pour former un produit gazeux enrichi en un composant de l'air, des moyens pour soutirer un débit d'oxygène gazeux de la cuve de la deuxième colonne et/ou du vaporiseur-condenseur et caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour détecter le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs et des moyens permettant de varier le débit d'oxygène gazeux soutiré de la deuxième colonne en fonction du/des taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs et en ce que les moyens pour soutirer le débit d'oxygène gazeux sont reliés à la cuve de la deuxième colonne et/ou au vaporiseur condenseur.

Selon d'autres aspects facultatifs :

- l'appareil comprend au moins deux surpresseurs reliés en série
- l'appareil comprend des moyens pour court-circuiter au moins un des au moins deux surpresseurs
- l'appareil comprend des moyens pour arrêter volontairement un des deux surpresseurs qui peut être court-circuité
- les moyens pour soutirer le débit d'oxygène gazeux sont reliés à la cuve de la deuxième colonne et/ou au vaporiseur-condenseur
- les moyens permettant de varier le débit d'oxygène gazeux sont constitués par une vanne
- l'appareil comprend des moyens pour soutirer un débit enrichi en azote du système de colonnes, des moyens pour mélanger le débit d'oxygène gazeux avec le débit enrichi en azote pour former un débit mélangé et des moyens pour envoyer le débit mélangé se réchauffer dans l'échangeur de chaleur.

- l'appareil comprend des moyens pour envoyer le débit d'oxygène gazeux ou le débit mélangé à l'air.

- l'appareil comprend des moyens pour envoyer seule une partie de l'air épuré être surpressée dans le surpresseur ou les surpresseurs et des moyens pour
5 envoyer une autre partie de l'air se refroidir dans l'échangeur de chaleur et se détendre dans une turbine couplée au surpresseur ou dans les turbines couplées aux surpresseurs.

- l'appareil comprend des moyens de détecter le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs en mesurant le débit d'air détendu
10 dans la turbine ou les turbines.

- l'appareil comprend des moyens pour mesurer la pression de l'air en amont et en aval du surpresseur ou des surpresseurs pour détecter le taux de compression de celui-ci ou ceux-ci

- l'appareil comprend des moyens pour soutirer un liquide riche en oxygène
15 du système de colonnes et des moyens pour l'envoyer se vaporiser dans l'échangeur de chaleur afin de produire un produit gazeux riche en oxygène

- l'appareil ne comprend pas de colonne de mélange.

- l'appareil comprend deux surpresseurs en série ayant chacun un taux de compression variable et des moyens pour sortir au moins une partie de l'air épuré à
20 un niveau intermédiaire de l'échangeur de chaleur et pour l'envoyer aux surpresseurs en série à une température intermédiaire de l'échangeur de chaleur.

L'invention sera décrite de manière plus détaillée en se référant aux figures qui représentent des procédés selon l'invention.

La Figure 1 illustre une disposition typique des turbines et surpresseurs dans un
25 procédé à surpresseur froid. Ici l'air 1 est comprimé dans un compresseur 3 jusqu'à une pression entre 12 et 30 bars abs et refroidi aux alentours de la température ambiante au moyen d'un échangeur air eau (à contact direct ou indirect). On procédera ensuite à une épuration en tête afin de retirer certaines impuretés telles que l'eau et le CO₂. Ce courant sera ensuite divisé en deux parties. Une partie 9 est
30 surpressée dans un surpresseur « booster » 13, refroidi aux alentours de la température ambiante au moyen d'un échangeur air eau (à contact direct ou indirect), puis refroidi dans un échangeur de chaleur 17 jusqu'à une température intermédiaire de celui-ci, comprimé dans un surpresseur (« booster ») froid 15 et de

nouveau refroidi dans l'échangeur de chaleur 17, et liquéfié à contre courant des produits avant d'être envoyé à la distillation.

L'autre partie 11 de l'air 7 est ensuite refroidie jusqu'à une température intermédiaire de l'échangeur 17, éventuellement plus froide que la température d'entrée du surpresseur 15. A cette température, la partie 11 est divisée en deux. Chaque partie 23,25 est envoyée à une turbine respective 21,19 et les débits détendus sont mélangés pour former un débit à distiller 27. Le débit 27 est envoyé sous forme gazeuse à la distillation. L'énergie récupérée par les détentes des turbines 19 et 21 sert à entraîner les surpresseurs « booster » 13 et 15.

Si le taux de compression du surpresseur froid 15 réduit, on observe une augmentation de l'écart au bout froid du diagramme d'échange car on consomme moins de chaleur. Néanmoins dans ce cas, le palier de liquéfaction se décale, ayant lieu à une température plus basse et aura tendance à croiser le diagramme d'échange, auquel cas aucun échange de chaleur n'est possible.

Il est donc un objet de la présente invention de permettre une réduction du taux de compression du surpresseur froid, en réduisant le risque de fonctionnement défectueux.

En cas de réduction du taux de compression, on procède à un soutirage d'oxygène gazeux au niveau de la colonne basse pression, qu'on rejettera éventuellement dans l'azote résiduaire.

L'invention sera décrite en plus de détail par rapport à la Figure 2 qui représente un procédé selon l'invention.

Dans la Figure 2, on voit une partie d'échange de chaleur à gauche où la disposition illustrée pourrait être remplacée par celle de la Figure 1. A droite, le système de colonne est ici une double colonne, comprenant une première colonne 31 opérant à une première pression et une deuxième colonne 33 opérant à une deuxième pression inférieure à la première pression, les deux colonnes étant thermiquement reliées entre elles au moins un vaporiseur-rebouiller 35.

La figure représente le cas où les colonnes sont côte à côte mais rien n'empêche que celles-ci soient superposées.

Ici l'air 1 est comprimé dans un compresseur 3 jusqu'à une pression entre 15 et 15 bars abs et épuré dans l'unité 5 (pas illustrée dans la Figure 2) avant d'être divisé en deux. Une partie 9 est surpressée dans un surpresseur 13, refroidi dans l'échangeur 17 jusqu'à une température intermédiaire de celui-ci, surpressée de

nouveau dans le surpresseur froid 15 et puis envoyé à l'échangeur 17 pour être refroidi. L'air refroidi provenant du surpresseur froid 15 sort de l'échangeur 17, est divisé en deux, une partie 61 étant envoyée à la première colonne 31 après détente dans une vanne et l'autre partie 63 étant envoyée à la deuxième colonne 33 après détente dans une autre vanne.

Ainsi les deux surpresseurs 13,15 sont reliés en série alors que dans la Figure 2 ils sont en parallèle.

Le reste 11 de l'air 1 est refroidi dans l'échangeur jusqu'à une température inférieure à la température d'entrée du surpresseur froid 15. A cette température, l'air 11 est divisé en deux. La partie 23 est détendue dans une première turbine 21. La partie 25 est détendue dans une deuxième turbine 19. Les deux débits détendus sont réunis pour former le débit gazeux 27 et l'air est envoyé en cuve de la première colonne 31 opérant à une pression entre 3 bars et 14 bars (mais typiquement aux alentours de 5.5-6 bars).

L'air se sépare dans la première colonne 31 pour former un liquide enrichi en oxygène 37 qui est envoyé de la première colonne 31 vers la deuxième colonne 33. Un liquide 39 riche en azote est envoyé de la tête de la première colonne 31 vers la deuxième colonne 33. Un liquide intermédiaire 41 est envoyé de la première colonne 31 vers la deuxième colonne 33.

Du liquide de cuve 65 de la première colonne est pressurisé par une pompe 67 et divisé en deux. Une partie du liquide 69 peut être envoyée comme produit à l'extérieur. Le reste 71 est envoyé vers le vaporiseur-condenseur 35 en tête de la première colonne 31. Le gaz produit par vaporisation 51 est envoyé en opération normale entièrement vers la cuve de la deuxième colonne 33.

De l'oxygène liquide 81 est soutiré de l'espace autour du vaporiseur 35, pressurisé puis vaporisé dans l'échangeur 17. Ce liquide peut être remplacé par un débit d'azote liquide pressurisé qui se vaporise dans ce même échangeur.

De l'azote liquide 45 faisant partie du reflux provenant de la première colonne est extrait comme produit. De l'azote résiduaire 43 et de l'azote gazeux 49 sont extraits en haut et en bas du minaret de la deuxième colonne 33. La présence du minaret n'est pas essentielle si l'azote pur n'est pas requis.

De l'azote gazeux n'est pas forcément soutiré en tête de la colonne moyenne pression 31.

Une des turbines 19,21 entraîne le surpresseur froid 15 et l'autre entraîne le surpresseur chaud 13. Il est donc possible de réguler le taux de compression du surpresseur froid 15 en modifiant le débit d'air détendu dans la turbine qui entraîne le surpresseur froid 15. Si moins d'air est détendu dans la turbine, le travail associé
5 réduit et donc l'énergie transmise au surpresseur froid réduit aussi. De cette façon, on peut réduire le taux de compression du surpresseur froid. De même en augmentant le débit détendu dans la turbine, le taux de compression peut être augmenté.

Si le taux de compression a réduit au-delà d'un taux permis, par exemple réduit
10 de 1,8 à 1,6, le procédé doit être modifié pour permettre de continuer de fonctionner. Selon l'invention, dans ce cas, une partie 55 de l'oxygène gazeux 51 vaporisé par le vaporiseur 35 est soutirée du système de colonnes en passant par une vanne 57 et se réchauffe dans l'échangeur de chaleur 17. Pour éviter de compliquer l'échangeur, il peut être mélangé précédemment avec un autre débit, par exemple, le débit 43
15 d'azote résiduaire pour former un débit 59. Ainsi la quantité d'oxygène gazeux 55 soutiré va de zéro, quand le taux de compression est suffisamment élevé à quelques pourcents du débit d'oxygène gazeux produit 81, quand le taux de compression est au minimum permissible, même en exploitant l'invention.

La détection du taux de compression se fait de préférence en mesurant le débit
20 de l'air détendu dans la turbine couplée au surpresseur froid, puisque le débit détendu dans la turbine détermine le taux de compression du surpresseur froid.

Par contre d'autres façons de détecter le taux de compression peuvent être utilisées, par exemple de mesurer la pression de l'air en amont et en aval du surpresseur froid, et de régler le débit d'oxygène gazeux 55 en fonction du rapport
25 entre ces deux pressions.

En soutirant de l'oxygène gazeux du système de colonne (débit 55) quand le taux de compression du surpresseur froid passe en dessous d'un seuil (par exemple en dessous de 60% de son taux de compression nominal voire en dessous de 85% de son taux nominal), ceci permet d'augmenter la production de liquide possible
30 comme produit final avec une seule ligne d'échange principale et un seul compresseur d'air principal. On transfère une partie de l'énergie de séparation et de compression des produits vers une énergie de liquéfaction.

Ainsi avec un taux de compression du surpresseur froid de 1,8, la capacité de liquéfaction est de $1000\text{Nm}^3/\text{h}$. Si le taux de compression baisse à 1,6, on produit

moins d'oxygène gazeux 81 mais la capacité de liquéfaction augmente à 1500 Nm³/h.

Selon une autre variante de l'invention, comme illustré à la Figure 3, il est possible d'utiliser deux surpresseurs froids en série. L'air est comprimé, refroidi et
5 épuré de la même façon que pour la Figure 1 dans un compresseur 3 à une pression entre 12 et 30 bars abs avant d'être divisé en deux. Une partie 9 est refroidie dans un échangeur de chaleur 17 jusqu'à une température intermédiaire de celui-ci, surpressée dans un premier surpresseur froid 13 et ensuite surpressée dans un deuxième surpresseur froid 15 et de nouveau refroidie dans l'échangeur de chaleur
10 17 avant d'être envoyée à la distillation. Un refroidissement intermédiaire entre les deux surpresseurs froids 13,15 dans la ligne d'échange est optionnel.

L'autre partie 11 est refroidie jusqu'à une température intermédiaire de l'échangeur 17. A cette température, la partie 11 est divisée en deux. Chaque partie 23,25 est envoyée à une turbine respective 25,23 et les débits détendus sont
15 mélangés pour former un débit à distiller 27.

On peut envisager pousser le taux de compression total des surpresseurs froids jusqu'à plus de 4, le taux de compression défini comme le rapport entre la pression de l'air entrant dans le premier surpresseur sur la pression de l'air sortant du dernier surpresseur.

Dans le cas de la Figure 3, le procédé peut fonctionner dans une marche nominale avec les deux surpresseurs froids 13,15 en état de marche et la conduite de court-circuitage 71 fermée au moyen de la vanne 73. Dans ce cas, on produit de l'oxygène gazeux à haute pression en vaporisant de l'oxygène liquide pressurisé dans l'échangeur 17 par échange de chaleur avec l'air. Du fait du fort taux de
20 compression dû au deux surpresseurs froids en série, on peut fonctionner avec une pression moins élevée pour la sortie du compresseur principal 3 et ainsi une consommation d'énergie réduite.

Dans une autre marche de l'appareil, le surpresseur froid 15 ne fonctionne pas et l'air surpressé passe de la sortie du surpresseur froid 13 via la conduite 71 et la
30 vanne ouverte 73 vers l'échangeur de chaleur 17 à plus basse pression que pendant la marche normale. Pour compenser la réduction de taux de compression, puisque seul un surpresseur fonctionne, de l'oxygène gazeux est soutiré du système de colonnes et se réchauffe dans l'échangeur de chaleur 17, alors qu'il n'y a aucun soutirage de ce genre lors de la marche normale. La production d'oxygène gazeux

par vaporisation est réduite, par exemple de 10% mais la production de liquide comme produit final est augmentée.

Le fait que le surpresseur froid 15 ne fonctionne pas peut être le résultat d'une panne ou un fonctionnement moins qu'optimal ou sinon peut résulter une démarche volontaire. Selon la démarche volontaire, on décide d'arrêter le surpresseur froid, afin de permettre une marche avec production d'oxygène gazeux directement soutiré de la colonne basse pression.

Pour certains appareils de séparation d'air, la production de gaz en opération se situe parfois à 80-85% de celle pour laquelle l'appareil est conçu. Selon l'invention, cette production gazeuse non-requise peut être « gâchée » en l'envoyant à l'air par la conduite 55 (ou autre) pour produire plus de liquide, tout en fonctionnant au point optimisé de fonctionnement du MAC HP.

Cela permet également de réagir aux pics de consommation du client. En cas de pic de consommation du client, on pourra vaporiser le liquide stocké pour compléter les productions. On ne dimensionnera pas l'appareil sur une taille de production maximum mais sur une taille intermédiaire, ce qui réduit le coût de l'appareil

L'envoi d'oxygène gazeux, soutiré sous forme gazeuse, à l'air permet de répartir la puissance du compresseur principal entre énergie de compression et énergie de liquéfaction

En utilisant une conduite pour envoyer l'oxygène gazeux à l'air, ceci permet ponctuellement d'augmenter la production liquide en marche « surpresseur froid à taux de compression réduit ».

Pour toutes les figures, il est possible d'opérer en soutirant un débit minime d'oxygène gazeux quand le surpresseur a un taux de compression suffisant. Dans ce cas, si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est au dessus d'un seuil, on soutire un premier débit d'oxygène gazeux égal à au plus 2 % du produit gazeux riche en oxygène et se réchauffe dans l'échangeur de chaleur 17. Si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est en dessous du seuil, un débit d'oxygène gazeux supérieur au premier débit est soutiré du système de colonnes et se réchauffe dans l'échangeur de chaleur 17.

Revendications

1. Procédé de séparation d'air par distillation cryogénique dans lequel :

5 i) de l'air (1,7) est comprimé à une première pression, épuré, refroidi dans un échangeur de chaleur (17) et envoyé pour être séparé dans un système de colonnes (31,33) comprenant une première colonne (31) opérant à une première pression et une deuxième colonne (33) opérant à une deuxième pression, la deuxième pression étant inférieure à la première pression, les deux colonnes étant thermiquement
10 reliées entre elles au moyen d'un vaporiseur-condenseur (35),

ii) au moins une partie (9) de l'air épuré sort à un niveau intermédiaire de l'échangeur de chaleur, est surpressée dans au moins un surpresseur (13,15), éventuellement dans deux surpresseurs en série, ayant un taux de compression variable à une température intermédiaire de l'échangeur de chaleur, est renvoyée à
15 l'échangeur de chaleur pour se refroidir et est envoyée au système de colonnes

iii) un débit liquide riche en oxygène est soutiré du système de colonnes, pressurisé et vaporisé dans l'échangeur de chaleur pour former un produit gazeux (81) riche en oxygène et

a) si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des
20 surpresseurs ou des surpresseurs est au dessus d'un seuil, on ne soutire pas de débit d'oxygène gazeux (55) du système de colonnes et si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est en dessous du seuil, un débit d'oxygène gazeux est soutiré de la cuve de la deuxième colonne et/ou du vaporiseur-condenseur et se
25 réchauffe dans l'échangeur de chaleur ou

b) si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des
surpresseurs ou des surpresseurs est au dessus d'un seuil, on soutire un premier débit d'oxygène gazeux égal à au plus 2 % du produit gazeux (81) riche en oxygène de la cuve de la deuxième colonne et/ou du vaporiseur-
30 condenseur et le premier débit se réchauffe dans l'échangeur de chaleur et si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est en dessous du seuil, un débit d'oxygène gazeux supérieur au premier débit est soutiré de la cuve de la

deuxième colonne et/ou du vaporiseur-condenseur et se réchauffe dans l'échangeur de chaleur et dans lequel

c) seule une partie (9) de l'air épuré est surpressée dans le surpresseur ou les surpresseurs (13,15), une autre partie (11) de l'air est refroidie dans l'échangeur de chaleur (17) et détendue dans une turbine couplée au surpresseur ou dans des turbines (19,21) couplées aux surpresseurs et on détecte le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs (13,15) en mesurant le débit d'air détendu dans la turbine ou les turbines (19,21) et/ou

d) en mesurant la pression de l'air en amont et en aval du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs (13,15), on détecte le taux de compression de celui-ci ou de ceux-ci.

2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est au dessus d'un seuil, on ne produit pas de liquide comme produit final ou on produit une première quantité de liquide (45, 69) comme produit final et si le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs ou des surpresseurs est en dessous du seuil, on produit du liquide comme produit final ou on produit une quantité de liquide comme produit final supérieure à la première quantité.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2 dans lequel on soutire un débit enrichi en azote (43) du système de colonnes, on mélange le débit d'oxygène gazeux (55) avec le débit enrichi en azote pour former un débit mélangé (59) et on réchauffe le débit mélangé dans l'échangeur de chaleur (17).

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel le débit d'oxygène gazeux (55) ou le débit mélangé (59) est envoyé à l'air.

5. Procédé selon la revendication 4 dans lequel le débit d'oxygène gazeux (55), soutiré en cas de taux de compression du surpresseur trop bas, constitue au plus 10% du produit gazeux (81) riche en oxygène.

6. Appareil de séparation d'air par distillation cryogénique comprenant un échangeur de chaleur (17), un système de colonnes (31,33) comprenant une première colonne (31) opérant à une première pression et une deuxième colonne (33) opérant à une deuxième pression, la deuxième pression étant inférieure à la première pression, les deux colonnes étant thermiquement reliées entre elles au moyen d'un vaporiseur-condenseur (35), au moins un surpresseur (15) ayant un taux de compression variable, une conduite pour envoyer de l'air (27) comprimé à une première pression, épuré et refroidi de l'échangeur de chaleur au système de colonnes pour être séparé, des moyens pour sortir au moins une partie (9) de l'air épuré à un niveau intermédiaire de l'échangeur de chaleur et pour l'envoyer au surpresseur ou aux surpresseurs en série (13,15) à une température intermédiaire de l'échangeur de chaleur, des moyens pour renvoyer l'air surpressé dans le ou les surpresseur(s) à l'échangeur de chaleur pour se refroidir et être envoyée au système de colonnes, une conduite pour soutirer un débit liquide du système de colonnes, des moyens pour pressuriser le débit liquide et une conduite pour envoyer le débit liquide pressurisé se vaporiser dans l'échangeur de chaleur pour former un produit gazeux (81) enrichi en un composant de l'air, caractérisé, des moyens pour soutirer un débit d'oxygène gazeux du système de colonnes caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour détecter le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs et des moyens permettant de varier le débit d'oxygène gazeux (55) soutiré du système de colonnes en fonction du/des taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs et en ce que les moyens pour soutirer le débit d'oxygène gazeux sont reliés à la cuve de la deuxième colonne (33) et/ou au vaporiseur-condenseur.

7. Appareil selon la revendication 6 comprenant des moyens pour envoyer seule une partie de l'air épuré pour être surpressée dans le surpresseur (15) ou les surpresseurs et des moyens pour envoyer une autre partie (11) de l'air se refroidir dans l'échangeur de chaleur et se détendre dans une turbine (19, 21) couplée au surpresseur ou dans les turbines couplées aux surpresseurs.

8. Appareil selon la revendication 7 comprenant deux turbines (19, 21) en parallèle et des moyens pour y envoyer l'autre partie de l'air.

9. Appareil selon la revendication 7 comprenant des moyens de détecter le taux de compression du surpresseur ou d'au moins un des surpresseurs en mesurant le débit d'air détendu (27) dans la turbine (19, 21) ou les turbines.

5 10. Appareil selon l'une des revendications 6 à 9 comprenant des moyens pour mesurer la pression de l'air en amont et en aval du surpresseur (15) ou des surpresseurs pour détecter le taux de compression de celui-ci ou ceux-ci.

10 11. Appareil selon l'une des revendications 6 à 10 comprenant des moyens (65) pour soutirer un liquide riche en oxygène du système de colonnes et des moyens pour l'envoyer se vaporiser dans l'échangeur de chaleur afin de produire un produit gazeux riche en oxygène.

15 12. Appareil selon l'une des revendications 6 à 11 ne comprenant pas de colonne de mélange.

20 13. Appareil selon l'une des revendications 6 à 11 comprenant deux surpresseurs (13,15) ayant un taux de compression variable et des moyens pour sortir au moins une partie (9) de l'air épuré à un niveau intermédiaire de l'échangeur de chaleur et pour l'envoyer aux surpresseurs en série (13,15) à une température intermédiaire de l'échangeur de chaleur.

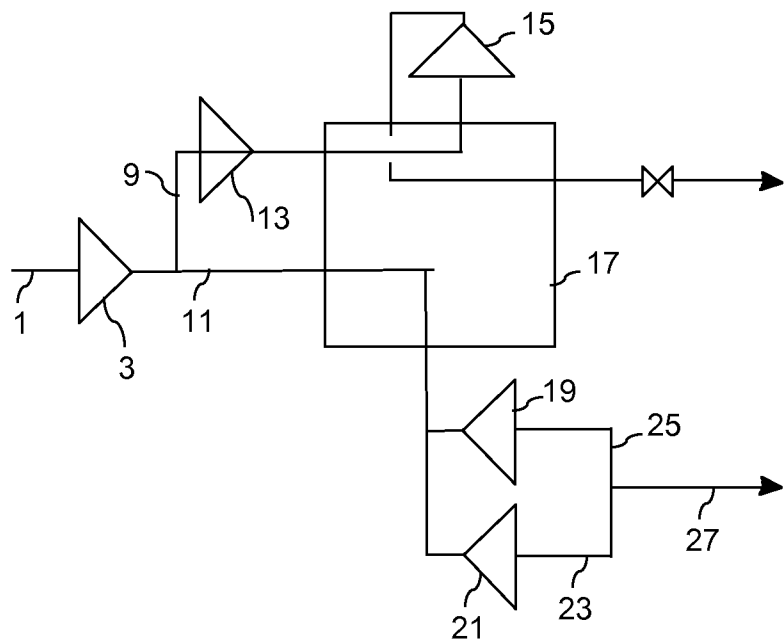


Figure 1

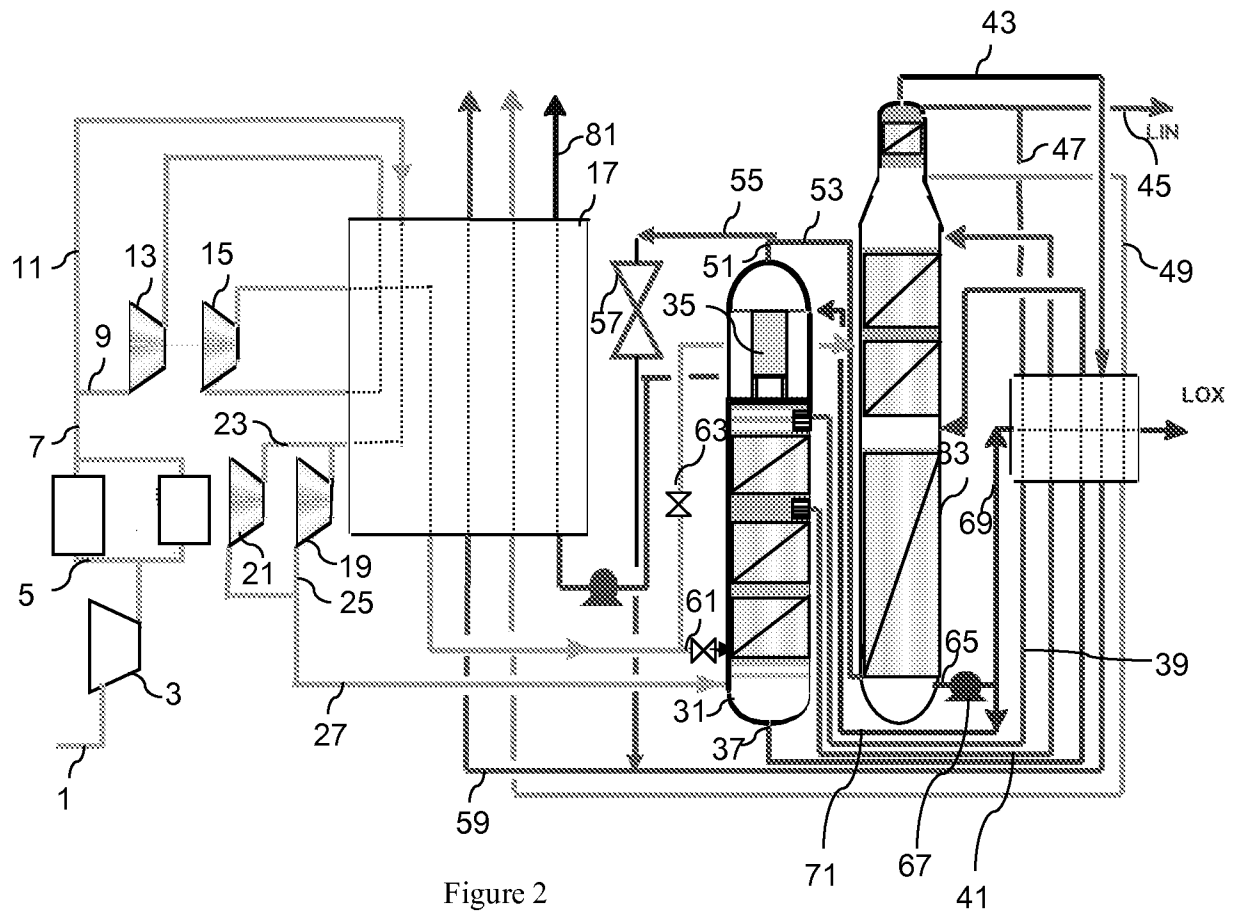


Figure 2

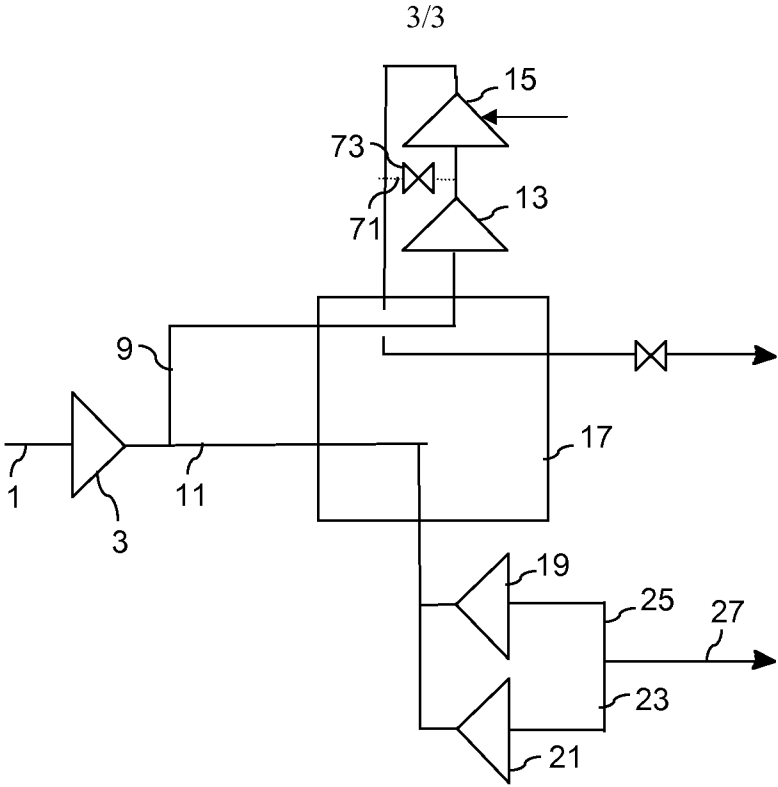


Figure 3