

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
27 août 2020 (27.08.2020)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/169901 A1

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

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2020/050254

(22) Date de dépôt international :
12 février 2020 (12.02.2020)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1901731 21 février 2019 (21.02.2019) FR

(71) Déposant : L'AIR LIQUIDE SOCIETE ANONYME
POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PRO-

CEDES GEORGES CLAUDE [FR/FR] ; 75, Quai
d'Orsay, 75007 PARIS (FR).

(72) Inventeur : DAVIDIAN, Benoit ; C/O AIR LIQUIDE
GLOBAL E&C SOLUTIONS FRANCE, 57 avenue Car-
not, 94503 Champigny-Sur-Marne (FR).

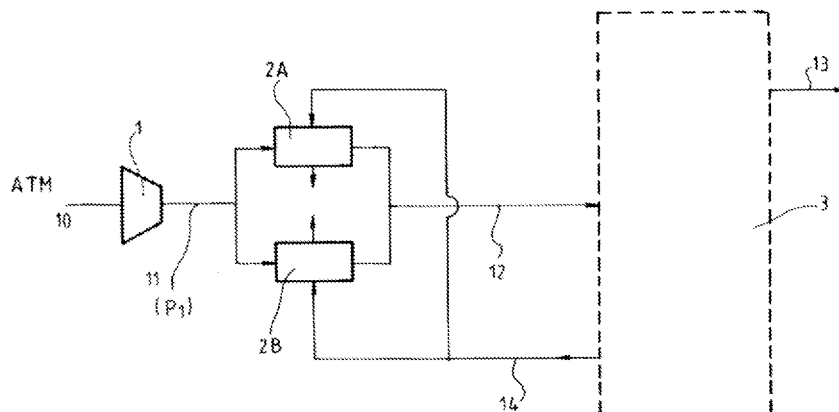
(74) Mandataire : CONDEMINÉ, Olivier ; L'AIR LIQUIDE
S.A., Direction de la Propriété Intellectuelle, 75 Quai
d'Orsay, 75321 PARIS CEDEX 07 (FR).

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,
KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR SEPARATING LOW-PRESSURE GASES IN THE AIR

(54) Titre : INSTALLATION ET PROCÉDÉ DE SÉPARATION DES GAZ DE L'AIR À BASSE PRESSION

[Fig. 2]



(57) **Abstract:** System for separating gases in the air, comprising in the travel direction of the air-stream: - a compression means (1) for compressing the air-stream at a pressure P1 of between 1.15 bar abs and 2 bar abs, - a TSA-type adsorption unit (2), and - a cryogenic distillation unit (3), - with the adsorption unit comprising at least two adsorbers A and B each having a casing having a parallelepiped shape arranged horizontally and comprising: - an inlet and an outlet of the air-stream - a fixed-bed adsorbent mass, also having a parallelepiped shape, the sides of which are parallel to the sides of the casing; and - a set of volumes enabling the adsorbent mass to pass through the air-stream horizontally, over the entire cross-section thereof and over the entire thickness thereof.

(57) **Abstrégé :** Installation de séparation des gaz de l'air comprenant dans le sens de circulation du flux d'air: - un moyen de compression (1) permettant de comprimer le flux d'air à une pression P1 comprise entre 1,15 bar abs et 2 bar abs, - une unité d'adsorption de type TSA (2), et - une unité de distillation cryogénique (3), - avec l'unité d'adsorption comprenant au moins deux adsorbents A et B présentant chacun une enveloppe de forme parallélépipédique disposée horizontalement et comprenant: - une entrée et une sortie du flux d'air - une masse adsorbante en lit fixe de forme également parallélépipédique dont les faces sont parallèles aux faces de l'enveloppe; et - un ensemble de volumes permettant la traversée de la masse adsorbante par le flux d'air horizontalement, sur toute sa section et sur toute son épaisseur.

[Suite sur la page suivante]

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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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), eurasién (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:

- *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*
-

Installation et procédé de séparation des gaz de l'air à basse pression

La présente invention est relative à une installation de séparation des gaz de l'air et au procédé de séparation des gaz de l'air mettant en œuvre cette installation. Plus précisément
5 il s'agit de purifier l'air atmosphérique avant séparation dudit air par distillation cryogénique.

Il est connu que l'air atmosphérique contient des composés devant être éliminés avant son introduction dans les échangeurs thermiques de la boîte froide d'une unité de séparation d'air, notamment la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), les oxydes d'azote et les hydrocarbures.

10 En effet, en l'absence d'un tel traitement de l'air pour en éliminer ses impuretés H₂O et CO₂, on assiste à une solidification de ces impuretés lors du refroidissement de l'air à température cryogénique typiquement inférieure à -150°C, d'où il peut résulter des problèmes de colmatage de l'équipement, notamment les échangeurs thermiques, les colonnes de distillation...

15 En outre, il est également d'usage d'éliminer au moins partiellement les impuretés hydrocarbures et oxydes d'azote susceptibles d'être présentes dans l'air afin d'éviter leur trop forte concentration dans le bas de la ou des colonnes de distillation, et de pallier ainsi tout risque de dégradation des équipements.

Actuellement, ce prétraitement de l'air est effectué, selon le cas, par procédé PSA
20 (Pressure Swing Adsorption = adsorption à pression modulée) ou par procédé TSA (Temperature Swing Adsorption = adsorption avec variation de température). Ces procédés se différencient par la manière de conduire la régénération de l'adsorbant : effet de pression dans le cas où ladite régénération s'effectue grâce à une pression inférieure à la pression d'adsorption ou effet de température quand elle s'effectue à une température supérieure à
25 celle de l'adsorption. Il convient de noter qu'il peut y avoir également un effet de réduction de pression dans une unité de type TSA et que différentes appellations peuvent être utilisées dans ce cas. Dans ce document, on utilise le terme « TSA » dès lors qu'on utilise un effet de température pour régénérer, qu'il y ait ou pas un effet additionnel lié à la pression.

Classiquement, un cycle de procédé TSA de purification d'air comporte les étapes suivantes :

30 Purification de l'air à pression super-atmosphérique et à température ambiante, éventuellement de l'ordre de 5 à 10°C en cas d'utilisation d'un moyen de réfrigération à l'amont de l'unité

- a) Dépressurisation de l'adsorbeur jusqu'à la pression atmosphérique,
- b) Régénération de l'adsorbant à pression atmosphérique, notamment par de l'azote impur provenant de l'unité de séparation d'air et réchauffé jusqu'à une température habituellement entre 90 et 250°C au moyen d'un échangeur généralement du type réchauffeur électrique ou réchauffeur à vapeur,
- c) Refroidissement à température ambiante de l'adsorbant, notamment en continuant à y introduire ledit gaz résiduaire issu de l'unité de séparation d'air mais non réchauffé,
- d) Repressurisation de l'adsorbeur avec de l'air atmosphérique ou de l'air purifié, par exemple issu de l'adsorbeur se trouvant en phase de production.

Généralement, les Installations de prétraitement d'air comprennent deux adsorbeurs, fonctionnant de manière alternée, c'est-à-dire que l'un des adsorbeurs est en phase de production pendant que l'autre est en phase de régénération.

Des étapes additionnelles à celles décrites plus haut peuvent être rajoutées, comme une étape de mise en parallèle des deux adsorbeurs, de durée plus ou moins longue, c'est-à-dire de quelques secondes à plusieurs minutes ou bien une étape d'attente sans circulation de fluides à travers l'adsorbant par exemple en fin d'étape de régénération.

La pression facilitant l'arrêt des impuretés, l'unité de purification est très généralement installée après compression, c'est-à-dire à une pression supérieure à 3 bar abs, fréquemment à une pression supérieure à 4.5 bar abs. Cette pression dépend en fait du cycle cryogénique retenu pour la séparation de l'air.

Le cycle le plus utilisé est le cycle « double colonne » (conventional dual column cycle) dans lequel l'air est comprimé à une seule pression qui correspond, aux pertes de charge près, à la pression de fonctionnement de la colonne dite moyenne pression, c'est-à-dire, très généralement entre 4.5 et 6 bar abs.

Il existe des cycles cryogéniques plus complexes dans lesquels l'air est utilisé à la fois en moyenne (MP, typiquement 4.5 à 9 bar abs) et haute (HP, typiquement 10 à 65 bar abs, voire 90 bar abs) pressions. La pression la plus élevée est obtenue soit en comprimant à nouveau la fraction adéquate de l'air en moyenne pression soit en utilisant deux compresseurs (MP, HP) comprimant l'air atmosphérique jusqu'aux pressions requises. Il est possible d'utiliser deux unités d'épuration, une en MP pour la fraction de l'air directement utilisée à cette pression et une en HP pour la partie comprimée à la haute pression, pour minimiser le volume d'adsorbant à mettre en œuvre. Cette solution est proposée dans le document FR 2949846

avec la première pression comprise entre 5 et 9 bar abs abs, voire entre 2 et 4 bar abs abs. Néanmoins, par souci de simplicité et généralement à cause d'un investissement moindre, la solution consistant à épurer la totalité de l'air en MP est habituellement retenue. Un exemple de ce type de cycle est décrit dans le document EP 0 789 208 B1, voir en particulier la figure 1, avec une pression MP, après première compression, de 5 à 6 bar abs. Des fractions de l'air ainsi épuré sont ensuite surpressées.

On conçoit que si la pression favorise l'adsorption, elle requiert en contrepartie, une tenue mécanique plus importante des équipements liés à l'épuration, en particulier des enveloppes des adsorbants. Plusieurs types d'adsorbants sont utilisés pour cette application d'épuration d'air : adsorbant cylindrique à axe vertical, adsorbant cylindrique à axe horizontal, adsorbant radial. On peut remarquer que toutes les viroles utilisées sont cylindriques. Cela s'explique par le fait qu'un cylindre est beaucoup plus résistant à la pression interne que ne sont des surfaces planes.

L'énergie consommée pour la séparation de l'air étant essentiellement liée à l'énergie nécessaire à la compression de l'air, les pertes de charge doivent être minimisées tout au long des circuits ayant une influence sur cette pression afin d'obtenir une énergie spécifique de séparation optimale. Les pertes de charge à travers l'épuration de l'air représentent une part non négligeable des irréversibilités du procédé. Cela a donc été une tendance de fond de développer des adsorbants présentant un frein minimum à la circulation des fluides. L'utilisation de l'adsorbant en couche mince et avec une grande section de passage est une des solutions généralement retenues quel que soit le type d'adsorbant mais un tel choix a des inconvénients.

Comme représenté schématiquement sur la Figure 1 [Fig 1], une telle disposition entraîne d'important volumes morts de part et d'autre du volume d'adsorbant. Les schémas 1.a, b et c représentent respectivement des adsorbants cylindriques à axe vertical, horizontal et un adsorbant radial. Les volumes d'adsorbant lorsqu'ils sont utilisés en couches minces ne représentent qu'une fraction du volume interne total de l'adsorbant, généralement moins de 50%. Cette fraction a tendance à diminuer lorsqu'on augmente la taille des adsorbants. Une partie de ces volumes morts sont nécessaire pour assurer une bonne distribution de l'air et du gaz de régénération à travers le volume adsorbant. Comme on l'a évoqué au début du document, on recherche pour cette application une épuration très poussée dans les diverses impuretés, en particulier pour les hydrocarbures, spécialement pour le propane, et les oxydes

d'azote, généralement bien en dessous d'un ppm (partie par million). Cela se traduit par des zones de distribution importantes à l'entrée et à la sortie de l'adsorbant afin d'avoir une distribution homogène. Cela impose également des tolérances de remplissage particulièrement faibles afin d'avoir des couches d'adsorbant de même épaisseur et de même densité (ou même taux de vide) quel que soit le trajet des fluides à travers l'adsorbant, afin d'éviter tout bipasse d'air qui viendrait polluer la production avant la fin de l'étape d'épuration.

On notera que dans le cas des lits radiaux, on peut obtenir grâce à la mise en œuvre des grilles cylindriques concentriques des épaisseurs de lits pratiquement identiques aux tolérances de fabrication près. Par contre dans le cas d'adsorbants cylindrique à axe vertical ou horizontal, il convient d'avoir des surfaces libres bien planes après remplissage et de s'assurer qu'elles restent ainsi en opération. Sur des sections pouvant dépasser 10 m², cela nécessite des procédures et/ou dispositifs d'installation adéquats.

Si le remplissage des adsorbants cylindriques peut se faire de façon relativement efficace et homogène du fait de leur géométrie, il n'en est pas toujours de même avec les lits radiaux pour lesquels il faut généralement utiliser des équipements développés spécialement à cet effet et/ou prévoir des équipements amovibles en partie supérieure.

Cela se traduit par un investissement relativement élevé pour cette épuration en moyenne pression à la fois à cause du volume de l'enveloppe, de l'épaisseur de la paroi et, lorsqu'une bonne distribution des fluides est requise à travers des lits de faible épaisseur, des Installations adéquates à prévoir. Il y a donc eu de nombreux développements pour tenter de réduire ce coût, en particulier des propositions pour utiliser des unités d'épuration à pression atmosphérique pour remplacer l'épuration MP ou au moins pour réduire sa taille.

En particulier, des schémas ont été développés avec une épuration d'air, totale ou partielle, à la pression atmosphérique, située à l'aspiration du compresseur d'air.

Le document US 2005/0217481 décrit un tel système utilisant une technologie rendue possible par la basse pression, celle des roues adsorbantes (Low Pressure Rotary Adsorbent Contactors). Ce procédé est dit adapté à l'épuration d'air avant séparation cryogénique. Quand on cherche à obtenir l'arrêt quasi complet des impuretés (ultra high purity), il convient d'utiliser 3 Installations en série.

Toujours en utilisant la technologie des roues adsorbantes, il a été imaginé de mettre en série, avant compression, un système rotatif destiné à enlever la majorité de l'humidité

suivi d'une épuration classique pour enlever les impuretés résiduelles. On peut alors citer le document US 2017/0216760 qui, bien qu'appliqué à un VPSA, décrit un tel système double.

Il convient de noter que les systèmes rotatifs ont été initialement développés pour retirer à pression atmosphérique une partie de l'humidité de l'air dans un procédé de conditionnement d'air et non pour des épurations poussées. Pour ces dernières applications, il convient de les adapter en augmentant les étanchéités, à la fois entre fluides et avec l'extérieur et à multiplier les étages en séries. L'industrialisation pour l'application envisagée reste encore à effectuer pour l'instant à notre connaissance.

Ces problèmes d'étanchéité des systèmes rotatifs sont d'autant plus gênant que l'on s'écarte de la pression atmosphérique.

Il convient de noter ici que la baisse de la pression d'adsorption de la MP à la pression atmosphérique a un double, voire triple, impact négatif. A même teneur, la quantité adsorbée est sensiblement plus faible, c'est en particulier vrai pour le CO₂, les traces d'hydrocarbures, les oxydes d'azote. Cela conduit à une première augmentation du volume d'adsorbant. La quantité d'eau à arrêter dans l'air atmosphérique est très sensiblement plus importante que celle de l'air MP. Une grande partie de l'eau est effectivement éliminée sous forme liquide en sortie du réfrigérant final du compresseur d'air dans la solution MP. Cela entraîne une majoration conséquente du volume de dessicant. Mais l'adsorption de cette eau a également pour conséquence de réchauffer l'air en circulation à travers l'adsorbant, diminuant à nouveau la capacité d'adsorption du CO₂ et des autres impuretés.

Cela signifie en pratique que les solutions consistant à placer l'épuration d'air à pression atmosphérique ne sont pas totalement satisfaisantes et relativement très peu utilisées. Les gains potentiels sur le matériel et la technologie liés à l'utilisation d'une basse pression sont entièrement compensés par les difficultés que la basse pression entraîne sur l'arrêt des impuretés.

Il a donc été proposé aussi des solutions hybrides avec une épuration partielle à la pression atmosphérique suivie d'une épuration finale en moyenne pression. L'épuration finale est de taille réduite par rapport à une solution classique mais le fait de devoir mettre en œuvre deux unités compense les gains que l'on pourrait attendre d'une telle réduction.

En définitive, il n'existe actuellement pas de procédé d'épuration pouvant tirer profit de la technologie basse pression et d'une épuration en MP.

Une solution de la présente invention est une installation de séparation des gaz de l'air comprenant dans le sens de circulation du flux d'air :

- un moyen de compression 1 permettant de comprimer le flux d'air à une pression P1 comprise entre 1,15 bar abs et 2 bar abs,
 - 5 - une unité d'adsorption de type TSA 2, et
 - une unité de distillation cryogénique 3,
- avec l'unité d'adsorption comprenant au moins deux adsorbateurs A et B présentant chacun une enveloppe de forme parallélépipédique disposée horizontalement et comprenant:
- une entrée et une sortie du flux d'air
 - 10 - une masse adsorbante en lit fixe de forme également parallélépipédique dont les faces sont parallèles aux faces de l'enveloppe ; et
 - un ensemble de volumes permettant la traversée de la masse adsorbante par le flux d'air horizontalement, sur toute sa section et sur toute son épaisseur.

Les fluides circulent de façon horizontale à travers la masse adsorbante. Cette dernière peut ainsi être maintenue entre deux parois poreuses aux gaz pour lesquelles les tolérances sur l'écartement peuvent être très faibles. On peut ainsi obtenir ainsi des épaisseurs de lit très minces et très homogènes. Comme déjà signalé, il est pratiquement impossible d'arriver à ce niveau de précision avec un lit d'adsorbant plat présentant une grande surface libre.

Dans la suite de la présente demande on notera L la longueur de l'adsorbateur A, H sa hauteur et l sa largeur. La section de la masse adsorbante a aussi pour longueur L et pour hauteur H.

Le choix de la pression P1 est fondamental dans le cadre de l'invention. Cette pression doit être suffisamment faible pour autoriser une technologie basse pression pour les adsorbateurs, c'est-à-dire en pratique des enveloppes d'adsorbateur avec des surfaces planes et non plus des enveloppes cylindriques mais être aussi sensiblement supérieure à la pression atmosphérique pour limiter les effets négatifs listés ci-dessus. Une pression de 1.5 bar abs par exemple permet d'utiliser des adsorbateurs parallélépipédiques avec éventuellement quelques renforts au niveau des surfaces planes. Elle permet également un gain très appréciable par rapport à une solution à pression atmosphérique. Les pressions partielles des impuretés augmentent de 50% et, ces impuretés étant sous forme de traces, la capacité d'adsorption des adsorbants mis en œuvre augmente également, en première approximation de 50%. La

quantité d'eau pouvant être introduite est plus faible et l'élévation de température correspondante plus faible.

A même temps d'adsorption, l'épuration à 1.5 bar abs reste nettement plus volumineuse qu'une épuration en MP, à 3 ou 4 bar abs mais également largement plus performante qu'une épuration à pression atmosphérique. L'utilisation de la technologie basse pression pour l'enveloppe peut faire alors pencher la balance en faveur de la solution d'après l'invention.

Par lits fixes, on entend ici que l'adsorbant, qu'il soit sous forme de particules (billes, bâtonnet, granulé, plaquettes...) ou d'adsorbant structuré comme par exemple de monolithe, est immobile dans une enveloppe elle-même immobile. On veut exclure par là toute solution où l'adsorbant est mobile et en particulier tout système rotatif de type roue ou bar absillet (procédé dans lequel ce sont les enveloppes contenant l'adsorbant qui sont mobiles).

Notons que la forme parallélépipédique de l'enveloppe de l'adsorbeur A permet un remplissage dense et homogène de l'adsorbeur sans avoir à utiliser de système complexe de remplissage.

Notons également que la traversée de la masse adsorbante par le flux gazeux horizontalement et sur toute sa longueur permet d'utiliser des épaisseurs de lit d'adsorbant très minces (0.15 m par exemple) et très homogènes.

Selon le cas, l'installation selon l'invention peut présenter une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous :

- les adsorbeurs A et B comprennent une entrée et une sortie du flux de régénération ;
Notons que l'entrée et la sortie du flux de régénération pourront être confondues avec l'entrée et la sortie du flux d'air ;
- au moins un des adsorbants de la masse adsorbante se présente sous forme de particules ;
- ladite installation comprend entre le moyen de compression 1 et l'unité de distillation cryogénique 3 une seule unité d'adsorption.
- l'ensemble de volumes comprend un premier volume V1 d'introduction et de distribution du flux d'air ; un deuxième volume V2 comprenant la masse adsorbante ; et un troisième volume V3 de récupération du flux d'air épuré ; les trois volumes étant accolés et en communication fluidique par leurs faces communes ; de préférence les 3

volumes V1, V2, et V3 sont de forme parallélépipédique et sont chacun de longueur L, de hauteur H et de largeurs respectives l1, l2, l3 avec $l1 < l$, $l2 < l$, $l3 < l$;

- le deuxième volume V2 comprend au moins deux sous-volumes comprenant des adsorbants différents ; ces sous-volumes sont de préférence de forme parallélépipédiques et présentent une hauteur et une longueur égales à la hauteur et à la longueur du volume V2
- le volume V1 et/ou le volume V3 comprennent respectivement des sous volume V11-V12 et V31-V32 séparés par une paroi perforée améliorant la distribution des fluides.
- les volumes V1 ou V11 et V3 ou V32 présente chacun au moins une face perméable aux fluides et l'adsorbeur comprend des boîtes de distribution et de récupération des fluides accolées aux faces perméables ; ces boîtes de distribution et de récupération sont de préférence en forme de demi cylindre ; elles peuvent renforcer la tenue mécanique de l'adsorbeur et limiter le nombre de renforts éventuellement nécessaires ; on pourra par exemple faire entrer le flux d'air par une boîte de distribution et faire sortir le gaz résiduaire par une boîte de récupération si cela facilite l'implantation ;
- le volume V2 ou au moins un des sous-volumes du volume V2 comprend sur toute la longueur de son extrémité supérieure un système destiné à éviter la pollution potentielle locale de l'air épuré ; Cette pollution peut être liée à un bipasse ou à un défaut de régénération ;
- l'unité d'adsorption comprend N couples d'adsorbours avec $N \geq 1$, chaque couple comprenant un adsorbeur A et un adsorbeur B accolés de manière à former un seul parallélépipède ; de préférence les adsorbours d'un même couple sont installés de façon symétrique par rapport à leur face adjacente. Si on regarde le parallélépipède formé par le couple d'adsorbours, les volumes relatifs à l'introduction de l'air à épurer sont de préférence situés sur l'extérieur du parallélépipède et les volumes relatifs à l'introduction du gaz de régénération sont de préférence situés en position centrale.
- chaque couple d'adsorbours comprend un adsorbeur A en adsorption et un adsorbeur B en régénération, avec tous les adsorbours en adsorption fonctionnant en parallèle et tous les adsorbours en régénération fonctionnant en parallèle.
- chaque adsorbeur A ou B ou le couple d'adsorbeur A/B est installé dans un conteneur ISO ou dans un conteneur aux dimensions et Installation de préhension conformes aux

normes ISO ; notons que de préférence au moins une partie de la structure du conteneur sert directement de structure pour le ou les adsorbateurs ; de préférence également une partie au moins des équipements annexe à l'adsorption tels que les vannes et le réchauffeur du gaz de régénération est installé dans le conteneur ;

- 5 - les adsorbateurs A et B comprennent une isolation thermique extérieure ou intérieure sur au moins une partie de leurs faces.
- l'enveloppe de l'adsorbateur A et/ou de l'adsorbateur B présente une longueur L comprise entre 2 et 15 mètres ; une hauteur H comprise entre 1 et 3 mètres ; et une largeur l comprise entre 0,5 et 3 mètres, préférentiellement entre 0,8 et 1,2 mètres.

10 L'adsorbateur A de l'installation selon l'invention va être décrit plus en détail à l'aide de la figure 2. En effet, cette figure fait apparaître les différents volumes V1, V2 et V3 ainsi que les sous-volumes éventuels. Par « forme parallélépipédique », on veut signifier que l'enveloppe de l'adsorbateur a en pratique ses six faces planes et à l'aspect d'un parallélépipède mais qu'il peut comporter des renforts, localement au moins une couche d'isolant interne ou
15 externe, et évidemment les tubulures ou boîtes d'introduction et de soutirage de l'air et du gaz de régénération. L'adsorbateur étant posé à plat on appelle L sa grande longueur, l sa largeur et H sa hauteur. Dans le cadre de l'invention, le fait qu'il s'agisse de dimensions extérieures ou intérieures n'a pas d'importance.

Sur la figure 2, il apparaît clairement que les volumes et sous-volumes sont tous de
20 forme parallélépipédique et ont tous la même longueur L et la même hauteur H. Les parallélépipèdes qu'ils forment ne se différencient que par leur largeur.

Comme indiqué précédemment le volume V2 peut comprendre une pluralité de sous-volumes avec chacun desdits sous-volumes pouvant contenir un adsorbant différent.

De l'entrée vers la sortie, on pourra ainsi utiliser de l'alumine activée, de l'alumine
25 activée dopée ou du gel de silice pour arrêter l'essentiel de l'eau, une zéolite 13X pour arrêter l'essentiel du CO₂, une zéolite échangée pour arrêter les oxydes d'azote et certains hydrocarbures...La configuration retenue ici est plus aisée que les solutions habituelles pour la mise en œuvre d'une épuration multi couches avec un volume géométrique bien déterminé pour chacun des lits. Les largeurs l_{2i} peuvent être de dimension différente. Cette configuration
30 correspond préférentiellement à l'utilisation d'adsorbant particulaire (bille, bâtonnet...). On pourrait également utiliser des monolithes ou plus généralement des adsorbants structurés, et ce avec ou sans nécessité d'avoir des sous volumes distincts. En effet, selon la forme

géométrique des adsorbants structurés, il n'y a pas lieu de prévoir systématiquement une séparation entre des éléments de nature différente qui peuvent être disposés directement en série.

[Fig 2] La figure 2 montre un cas correspondant à 2 sous volume V21 et V22.

5 Selon un autre mode de réalisation le volume V1 et/ou le volume V3 comprennent respectivement des sous volume V11-V12 et V31-V32 séparés par une paroi perforée améliorant la distribution des fluides. Par ce mode de réalisation, on veut assurer la bonne répartition de l'air à travers toute la section de l'adsorbant et de même, celle du gaz de régénération. La partie perforée entre les volumes V11 et V12 d'une part et/ou entre les
10 volumes V31 et V32 d'autre part permet moyennant une faible perte de charge d'améliorer sensiblement la répartition des fluides en entrée et/ou sortie des couches d'adsorbant. La résistance fluidique des couches d'adsorbant elles-mêmes permet alors d'obtenir très vite, au bout d'un ou deux centimètres la répartition quasi parfaite des débits (à + ou - 1% si nécessaire).

15 De façon à garantir l'efficacité thermique de l'unité d'adsorption, c'est-à-dire d'en limiter les pertes, un mode préférentiel de réalisation correspondra à la caractéristique suivante :

- au moins certaines faces d'un adsorbeur ou d'un couple d'adsorbeur possèdent une isolation thermique extérieure ou intérieure à l'adsorbeur.

Cette isolation thermique peut utiliser un quelconque des matériaux isolants classiques
20 (perlite, laine de roche, mousse expansée...) mais aussi des dispositifs comme une lame d'air ou préférentiellement un système de double lame d'air comme utilisé classiquement dans les adsorbeurs à l'amont des unités cryogéniques de séparation d'air. Dans ce cas, c'est le fluide lui-même qui joue le rôle d'isolant.

Selon un autre mode de réalisation, l'adsorbeur A ou le couple d'adsorbeurs A - B est
25 installé dans un conteneur ISO ou dans un conteneur aux dimensions et Installation de préhension conformes aux normes ISO.

L'adsorbeur ou les deux adsorbeurs sont assemblés dans une structure spécifique réalisée en atelier, qui peut éventuellement utiliser une partie d'un conteneur ISO standard. L'intérêt de respecter les normes ISO est que cela permet une manutention et un transport
30 grandement facilités. Les renforts éventuels permettant la tenue mécanique de l'ensemble à la pression seront contenus dans les dimensions standards des conteneurs.

Compte tenu qu'il existe des conteneurs de grande taille, il peut être intéressant, dans les deux cas ci-dessus, de loger aussi dans le conteneur les boîtes de distribution, une partie des tuyauteries ou des vannes, le réchauffeur électrique.... Au moins une des parois du conteneur (paroi latérale, inférieure, supérieure) peut servir de paroi pour l'adsorbeur lui-même. En particulier, les parois latérales peuvent être intégrées aux volumes de distribution V1 et/ou V3. Plus généralement, une partie au moins de la structure du conteneur sert directement comme structure pour l'adsorbeur.

Les matériaux utilisés pour les adsorbeurs et leurs internes sont par exemple de l'acier carbone, de l'inox, de l'aluminium, ou des matériaux à faible dilatation thermique, par de l'INVAR.

La présente invention a également pour objet un procédé de séparation des gaz de l'air à partir d'un flux d'air contenant au moins une impureté choisie parmi la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, les oxydes d'azote et les hydrocarbures, mettant en œuvre une installation telle que définie précédemment et comprenant les étapes successives suivantes :

- compression 1 du flux d'air à une pression P1 comprise entre 1,15 bar abs et 2 bar abs,
- épuration du flux d'air comprimé, par adsorption au moyen de l'unité de type TSA 2 de manière à éliminer au moins une impureté contenue dans le flux d'air, et
- séparation des constituants du flux d'air par distillation cryogénique au moyen de l'unité (3), avec l'intégralité de l'étape b) réalisée à la pression P1.

Selon le cas le procédé selon l'invention peut présenter une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous :

- la pression P1 est comprise entre 1,15 bar abs et 1,5 bar abs, de préférence comprise entre 1,20 bar abs et 1,30 bar abs.
- le procédé met en œuvre une installation telle que définie précédemment et à l'étape b) le flux d'air est introduit dans le volume V1 ou le sous-volume V11 et le flux d'air épuré est soutiré du volume V3 ou du sous-volume V32. Notons que cette introduction et/ou ce soutirage s'effectueront de préférence soit de façon horizontale via l'un ou les deux côtés latéraux de l'enveloppe, soit de façon verticale via l'une ou les deux faces horizontales de l'enveloppe, autrement dit via le dessus ou le dessous de l'enveloppe, soit via une grande face de l'enveloppe ;
- l'installation mise en œuvre comprend dans son unité d'adsorption N couples d'adsorbeurs A et B avec $N \geq 1$ avec les adsorbeurs d'un même couple accolés de

manière à former un seul parallélépipède et avec chaque couple d'adsorbours comprenant un adsorbours A en adsorption et un adsorbours B en régénération, le procédé comprend une étape supplémentaire d) de régénération de l'adsorbours B et à l'étape b) dans chaque adsorbours A en adsorption le flux d'air est introduit dans chaque volume V1 ou sous-volume V11 et le flux d'air épuré est soutiré de chaque volume V3 ou sous-volume V32 et à l'étape d) dans chaque adsorbours B en régénération un flux de régénération est introduit dans chaque volume V3 ou sous-volume V32 puis soutiré de chaque volume V1 ou sous-volume V11.

- les flux d'air ou de régénération sont introduits ou soutirés des différents volumes V1, V11, V3 et V32, préférentiellement par leurs côtés situés dans les faces latérales de la forme parallélépipédique de l'adsorbours A ou B ou par leurs côtés situés dans les bases de la forme parallélépipédique de l'adsorbours A ou B. En fait, les flux peuvent être introduits/soutirés théoriquement par au moins une des 5 faces des différents volume donnant sur le milieu extérieur (les 2 faces latérales, la face du haut ou du bas, ou éventuellement la face principale LxH). Préférentiellement les faces latérales ou par la base. La face principale ne favorise pas la distribution et la face intérieure n'est pas disponible si 2 adsorbours sont accolés. Comme on remplit l'adsorbours par le haut, on évitera les obstacles en partie supérieure.

Le procédé selon l'invention est illustré par la Figure 3 [Fig 3]. L'air atmosphérique renfermant les divers polluants à éliminer est comprimé au moyen du compresseur 1 à la pression P1, de l'ordre de 1.5 bar abs et cet air comprimé 11 est introduit dans l'adsorbours A du TSA. En sortie d'épuration cet air épuré 12 est envoyée dans la partie aval de l'unité 3 qui comprend en particulier l'unité de distillation cryogénique. Le gaz de régénération 14 est issu de cette dernière unité. Il s'agit généralement d'azote impur (c'est-à-dire contenant de l'argon et de l'oxygène) en basse pression, voisine de la pression atmosphérique. Ce gaz- ou une fraction de ce gaz -est chauffé à l'aide d'un ou de plusieurs échangeurs de chaleur (à vapeur, électrique, récupérateur de chaleur sur d'autres fluides...) pendant l'étape de chauffage puis sert au refroidissement de l'adsorbours. La production 13, généralement de l'oxygène impur (90-98%) dans le cas qui nous intéresse est dirigée vers une unité aval non représentée.

Concernant l'entrée et le soutirage des fluides, on peut trouver une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- les fluides sont introduits ou soutirés du volume V1 -ou suivant le cas du sous volume V11- de façon horizontale via l'un ou les deux côtés latéraux.
- les fluides sont introduits ou soutirés du volume V3 -ou suivant le cas du sous volume V32- de façon horizontale via l'un ou les deux côtés latéraux.
- 5 • Les fluides sont introduits ou soutirés du volume V1 -ou suivant le cas du sous volume V11- de façon verticale via l'une ou les deux faces horizontales constituant le dessus ou le dessous du parallélépipède.
- les fluides sont introduits ou soutirés du volume V3 -ou suivant le cas du sous volume V32- de façon verticale via l'une ou les deux faces horizontales constituant
10 le dessus ou le dessous du parallélépipède.

Selon une autre variante, les fluides sont introduits ou soutirés par les grandes faces du parallélépipède (de section $L \cdot H$) . Dans ce dernier cas, la circulation des fluides à travers l'adsorbant (V1, V2, V3) se fait essentiellement en ligne droite de l'entrée à la sortie. On veut
15 signifier par là qu'en particulier, il n'y a pas de brusque changement de direction, à environ 90°, du fluide entre son entrée dans l'adsorbant et sa traversée à l'horizontale du volume adsorbant.

La circulation des fluides étant horizontale dans les adsorbants, on retrouve certaines des contraintes propres aux adsorbants radiaux, et en particulier le fait qu'il faut éviter la percée prématurée des impuretés en partie haute de l'adsorbant. Ladite percée peut provenir
20 d'un bypass ou d'un sur débit d'air local et/ou d'un défaut de régénération.

Le bypass peut quant à lui avoir son origine dans le tassement de l'adsorbant. Ces problèmes sont bien connus de l'homme de l'art et on appliquera ici des solutions déjà développées. En particulier, comme indiqué plus haut, l'utilisation d'adsorbant parallélépipédique simplifie de par sa géométrie, la mise en œuvre des solutions imaginées
25 pour les lits radiaux (zone morte remplie d'une hauteur suffisante d'adsorbant, équivalent des cônes...). A noter à nouveau, que le remplissage est également simplifié et qu'il est aisé ici d'obtenir un remplissage en pluie, dense et homogène limitant à la fois le tassement et les risques d'inhomogénéité de densité dans les lits.

Du fait de la géométrie simple, on pourra par exemple utiliser une bouduche gonflée
30 à une pression supérieure à P1, formant étanchéité au-dessus de la surface libre des adsorbants. Il pourra s'agir aussi d'une membrane appliquée en permanence sur la surface

libre des adsorbants par une légère surpression par rapport à la pression de fonctionnement. Cette surpression peut provenir d'un fluide, par exemple d'air instrument, ou d'un matériau pesant. Là encore, il conviendra d'adapter les solutions développées pour les adsorbants radiaux des unités de production d'oxygène par adsorption.

5 L'exemple suivant va illustrer l'invention telle qu'elle vient d'être décrite.

Il concerne une unité de production d'oxygène de l'ordre de 100 t/j (tonnes/jour) pour laquelle le débit d'air utilisé est de 15000 Nm³/h. La pression P1 au sortir du premier étage de compression est de 1.3 bar abs. Cet air est refroidi à 3°C au moyen d'un groupe frigorifique pour limiter la quantité de vapeur d'eau entraînée vers l'épuration et pour abaisser la
10 température d'adsorption. Cette température se situe ici dans la fourchette basse des niveaux de température utilisés. Elle a été choisie essentiellement à cause de la faible valeur de P1. Des températures de 5 à 8 °C pourraient être adoptées notamment en cas de pression P1 un peu plus élevée. Le choix final découle d'une étude économique globale. Le temps d'adsorption retenu est de 150 minutes, conduisant à un temps de cycle de 5 heures compte
15 tenu que l'unité d'épuration comprend de façon habituelle 2 adsorbants, l'un étant en production pendant que l'autre est régénération. Ces durées classiques pourraient être ici réduites. Le procédé cryogénique retenu conduit à disposer d'un important débit de gaz résiduaire pouvant servir à la régénération qui permettrait potentiellement de raccourcir les durées habituelles de chauffage et de refroidissement. Par ailleurs, les étapes de
20 dépressurisation et de repressurisation sont pratiquement inutiles vues les pressions respectives de production (1.3 bar abs) et de régénération (1.03 bar abs). Cependant, la faible épaisseur des lits d'alumine activée et de zéolite, de l'ordre de 0.25 m, n'a pas conduit à pousser plus loin une possible optimisation. Des temps de production de 120, 90, voire 60 minutes sont envisageables avec de l'air à épurer introduit éventuellement à une température
25 supérieure aux 3°C retenus dans cet exemple. Compte tenu de l'importance énergétique des pertes de charge en basse pression, il peut être envisagé d'installer une régulation du débit de régénération basée sur une optimisation de la perte de charge au long de ladite étape. Autrement dit, on prend plus de débit quand l'adsorbant est relativement froid, par exemple en début de chauffage et en fin de refroidissement et moins, quand à l'inverse il est, en
30 moyenne, le plus chaud. On peut également de façon plus simple imposer un premier débit de chauffage et un second débit plus important au cours du refroidissement.

Le volume total d'adsorbant est de l'ordre de 6 m³ répartis quasiment pour moitié entre alumine activée et zéolite de type X échangée au calcium et au bar absyum, adsorbant particulièrement performant pour arrêter les traces d'hydrocarbures et d'oxydes d'azote.

Suivant l'invention, chaque adsorbeur se présente sous la forme d'un parallélépipède de
5 longueur L égale à 5.75 m, de hauteur H égale à 2.9 m, et de largeur l égale à 1.00 m.

La hauteur utile d'adsorbant est de 2.1 m. On a prévu en partie supérieure un système anti-pollution, une réserve d'adsorbant pour compenser le tassement et 10 tubulures pour effectuer le remplissage des volumes V21 et V22 respectivement en alumine activée et en zéolite. Les entrées et sorties des fluides se font par les côtés. Ce sont ici des caissons, eux-
10 mêmes parallélépipédiques, accolés de part et d'autre de l'adsorbeur proprement dit.

Les volumes V1 et V3 d'entrée et sortie ne sont pas ici divisés en sous volumes. Les largeurs disponibles pour chacun d'entre eux (0.25 m) permettent une introduction directe, la vitesse des fluides étant suffisamment faible.

Les deux adsorbeurs sont disposés de façon adjacente avec une bar absrière d'isolation
15 thermique entre les surfaces se faisant face. Cette bar absrière peut être constituée simplement par une lame d'air. Une variante consisterait à ne conserver qu'une paroi commune de séparation des deux adsorbeurs et à utiliser, de part et d'autre un isolant interne. Ce type d'isolation est favorisée par le fait que les fluides en circulation au contact de l'isolant sont secs (air épuré, azote de régénération). Les adsorbeurs sont réalisés de façon symétrique
20 de sorte que les volumes V3A du premier adsorbeur et V3B du second adsorbeur soient adjacents (à la bar absrière d'isolant près, si cette solution est retenue) en partie centrale.

Cette description va être explicitée à l'aide des [Fig 4] et [Fig 5] représentant respectivement une coupe transversale et une coupe longitudinale des deux adsorbeurs tels qu'ils sont installés.

25 Sur la Figure [Fig 4], on a donc représenté les deux adsorbeurs A et B. Les divers repères 1' correspondent à leur enveloppe extérieure. Ils sont séparés par une barrière 2' assurant une isolation thermique. Cette barrière permet de limiter les déperditions thermiques du flux de régénération et le réchauffement de l'air épuré. Selon la pression P1 et les dimensions de l'adsorbeur, elle peut comprendre des renforts mécaniques afin d'augmenter la rigidité des
30 grandes faces (L*H) des adsorbeurs. Comme nous l'avons décrit, il existe plusieurs autres variantes pour effectuer cette isolation. Les repères 3' correspondent aux volumes V1A et V1B destinés à l'alimentation en air à épurer et à la sortie du gaz de régénération. De même, les

repères 4' à la sortie de l'air épuré et à l'entrée du gaz de régénération. Les volumes V21A et V21B 5' renferment l'alumine activée, les volumes V22A et V22B 6' la zéolite échangée. Les parois (7',8',9') sont perméables aux gaz mais étanches vis-à-vis des particules d'adsorbant. Il s'agit de grilles ou de tôles perforées recouvertes d'une toile métallique de maille inférieure au diamètre minimal des particules. Il peut également choisir de grilles spécialement développées pour ce type d'application du type « wedge wire screen », communément appelées aussi grille Johnson du nom d'un fournisseur. Les repères 10', 11', 12' et 13' correspondent au système destiné à compenser le tassement de l'adsorbant et à éviter un bipasse local des impuretés. Une tôle métallique rectangulaire 10' allant d'un bout à l'autre de l'adsorbeur délimite un volume de garde 11' rempli d'adsorbant. L'angle de la tôle avec l'horizontale permet aux particules passant par l'espace libre 13' de remplir totalement le volume situé en dessous de cette tôle. Le remplissage des adsorbeurs s'effectue par les tubulures 12' qui comportent à leur extrémité supérieure une bride d'étanchéité.

La Figure 5 [Fig 5] est une coupe longitudinale des adsorbeurs A et B, l'adsorbeur B étant un adsorbeur A en régénération. Elle permet de suivre le cheminement des différents fluides. On suppose que l'adsorbeur A est en phase de production. L'air à épurer 20' entre par la boîte 14' fixée à une extrémité de l'adsorbeur A. Cet air est distribué, en partie à cause de l'effet défecteur dû à la paroi extérieure latérale de l'adsorbeur, dans le volume V1A. De là, il traverse successivement la paroi perméable extérieure, le lit d'alumine activée 5', la paroi perméable médiane, le lit de zéolite 6' et la paroi perméable interne. L'air épuré 21' est recueilli dans le volume V3A puis pénètre dans la boîte 15' avant de sortir du système. L'autre adsorbeur B est alors en phase de régénération. Le gaz de régénération 30' rentre par la boîte 15' de cet adsorbeur, suit le cheminement inverse de l'air et sort via la boîte 14'. On a fait ici le choix de faire entrer le gaz de régénération chaud par le centre du dispositif constitué par les deux adsorbeurs. Cette configuration n'est pas obligatoire et, compte tenu des dilations thermiques inévitables un autre arrangement pourrait être retenu. On a représenté une seule tuyauterie pour l'entrée et la sortie des fluides dans l'adsorbeur. Suivant l'implantation, il peut être plus judicieux de prévoir deux tubulures distinctes, l'une pour l'air, l'autre pour le fluide de régénération.

A noter qu'on n'a pas représenté sur ces schémas de filtre en sortie d'adsorbeurs. De façon habituelle pour ce type d'application, il sera intégré dans les adsorbeurs. On rappelle que ceci est possible car, compte tenu de la circulation des fluides entre adsorption et

régénération, ces filtres sont autonettoyants, c'est-à-dire qu'ils se décolmatent automatiquement à chaque cycle. De façon préférentielle, le filtre est placé dans la boîte 15'. Il est préférentiellement plan.

Un des intérêts d'utiliser une technologie basse pression pour la construction des adsorbants est de bénéficier d'un transport aisé entre atelier et site d'implantation. Cette possibilité impose néanmoins quelques contraintes dimensionnelles. Ainsi, un adsorbant aura de préférence les caractéristiques suivantes :

- une longueur L comprise entre 2 et 15 mètres, une hauteur H entre 1 et 3 mètres et une largeur l entre 0.5 et 3 mètres, préférentiellement entre 0.8 et 1.5 mètre.

Il convient à priori de limiter la largeur de l'adsorbant et plus particulièrement l'épaisseur des couches d'adsorbant afin que les pertes de charge à travers lesdits adsorbants restent très faibles, de l'ordre de quelques millibars, éventuellement de la dizaine de millibars.

Cela implique que l'on pourra effectivement accoler les deux adsorbants sans que la largeur du tout dépasse les environ 3 m.

Ces contraintes que l'on souhaite respecter sur les dimensions maximales d'un adsorbant font que le débit d'air épuré par l'unité TSA que l'on vient de décrire est limité, probablement autour de 30 à 50 000 Nm³/h suivant les conditions exactes retenues pour l'épuration. Pour aller au-delà, on sera donc amené à installer en parallèle plusieurs unités identiques.

Comme indiqué précédemment, cette unité d'adsorption est située à l'amont d'une unité de distillation cryogénique. Cette unité peut être en particulier bien adaptée à la production d'oxygène en basse pression, et en particulier à de l'oxygène entre 90 et 98% de pureté.

L'installation selon l'invention permet également de réaliser des unités de petite taille, c'est à dire à partir de quelques dizaines à quelques centaines de tonnes par jour d'oxygène de manière compétitive. Le moyen de compression 1 pourrait alors être commun à plusieurs unités de nature éventuellement différente (air surpressé pour combustion, pour ventilation...).

REVENDICATIONS

1. Installation de séparation des gaz de l'air comprenant dans le sens de circulation du flux d'air :

- un moyen de compression (1) permettant de comprimer le flux d'air à une
- une unité d'adsorption de type TSA (2), et
- une unité de distillation cryogénique (3),

avec l'unité d'adsorption comprenant au moins deux adsorbateurs A et B présentant chacun une enveloppe de forme parallélépipédique disposée horizontalement et

- une entrée et une sortie du flux d'air
- une masse adsorbante en lit fixe de forme également parallélépipédique dont les faces sont parallèles aux faces de l'enveloppe ; et
- un ensemble de volumes permettant la traversée de la masse adsorbante par

2. Installation selon la revendication 1, caractérisée en ce que ladite installation comprend entre le moyen de compression (1) et l'unité de distillation cryogénique (3) une seule unité d'adsorption.

3. Installation de séparation des gaz de l'air selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que l'ensemble de volumes comprend :

- un premier volume V1 d'introduction et de distribution du flux d'air ;
- un deuxième volume V2 comprenant la masse adsorbante ; et
- un troisième volume V3 de récupération du flux d'air épuré ;

les trois volumes étant accolés et en communication fluide par leurs faces communes.

4. Installation de séparation des gaz de l'air selon la revendication 3, caractérisée en ce que le deuxième volume V2 comprend au moins deux sous-volumes comprenant des adsorbants différents.

5. Installation de séparation des gaz de l'air selon l'une des revendications 3 ou 4, caractérisée en ce que le volume V1 et/ou le volume V3 comprennent respectivement des sous volume V11-V12 et V31-V32 séparés par une paroi perforée améliorant la distribution des fluides.
6. Installation de séparation des gaz de l'air selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisée en ce que les volumes V1 ou V11 et V3 ou V32 présente chacun au moins une face perméable aux fluides et l'adsorbeur comprend des boites de distribution et de récupération des fluides accolées aux faces perméables.
7. Installation de séparation des gaz de l'air selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que l'unité d'adsorption comprend N couples d'adsorbeurs avec $N \geq 1$, chaque couple comprenant un adsorbeur A et un adsorbeur B accolés de manière à former un seul parallélépipède.
8. Installation de séparation des gaz de l'air selon la revendication 7, caractérisée en ce que chaque couple d'adsorbeurs comprend un adsorbeur A en adsorption et un adsorbeur B en régénération, avec tous les adsorbeurs en adsorption fonctionnant en parallèle et tous les adsorbeurs en régénération fonctionnant en parallèle.
9. Installation de séparation des gaz de l'air selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisée en ce que chaque adsorbeur A ou B ou le couple d'adsorbeur A/B est installé dans un conteneur ISO ou dans un conteneur aux dimensions et Installation de préhension conformes aux normes ISO.
10. Installation de séparation des gaz de l'air selon l'une des revendications 7 à 9, caractérisée en ce que les adsorbeurs A et B comprennent une isolation thermique extérieure ou intérieure sur au moins une partie de leurs faces.
11. Installation de séparation des gaz de l'air selon l'une des revendications 7 à 10, caractérisée en ce que l'enveloppe de l'adsorbeur A et/ou de l'adsorbeur B présente :

- une longueur L comprise entre 2 et 15 mètres ;
- une hauteur H comprise entre 1 et 3 mètres ; et
- une largeur l comprise entre 0,5 et 3 mètres, préférentiellement entre 0,8 et 1,2 mètres.

5

12. Procédé de séparation des gaz de l'air à partir d'un flux d'air contenant au moins une impureté choisie parmi la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, les oxydes d'azote et les hydrocarbures, mettant en œuvre une installation telle que définie à l'une des revendications 1 à 10 et comprenant les étapes successives suivantes :

10

a) compression (1) du flux d'air à une pression P1 comprise entre 1,15 bar abs et 2 bar abs,

b) épuration du flux d'air comprimé, par adsorption au moyen de l'unité de type TSA (2) de manière à éliminer au moins une impureté contenue dans le flux d'air, et

15

c) séparation des constituants du flux d'air par distillation cryogénique au moyen de l'unité (3),

avec l'intégralité de l'étape b) réalisée à la pression P1.

13. Procédé de séparation des gaz de l'air selon la revendication 12, caractérisé en ce que la pression P1 est comprise entre 1,15 bar abs et 1,5 bar abs, de préférence comprise entre 1,20 bar abs et 1,30 bar abs.

20

14. Procédé de séparation des gaz de l'air selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce qu'il met en œuvre une installation telle que définie dans l'une des revendications 3 à 5 et à l'étape b) le flux d'air est introduit dans le volume V1 ou le sous-volume V11 et le flux d'air épuré est soutiré du volume V3 ou du sous-volume V32.

25

15. Procédé de séparation des gaz de l'air selon la revendication 14, caractérisé en ce que :

30

- l'installation mise en œuvre comprend dans son unité d'adsorption N couples d'adsorbours A et B avec $N \geq 1$ avec les adsorbours d'un même couple accolés de

manière à former un seul parallélépipède et avec chaque couple d'adsorbents comprenant un adsorbent A en adsorption et un adsorbent B en régénération,

- le procédé comprend une étape supplémentaire d) de régénération de l'adsorbent B et

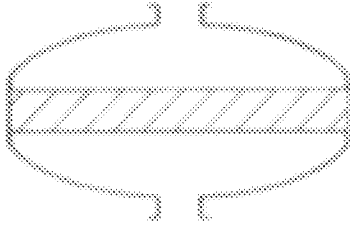
- 5 - à l'étape b) dans chaque adsorbent A en adsorption le flux d'air est introduit dans chaque volume V1 ou sous-volume V11 et le flux d'air épuré est soutiré de chaque volume V3 ou sous-volume V32 et à l'étape d) dans chaque adsorbent B en régénération un flux de régénération est introduit dans chaque volume V3 ou sous-volume V32 puis soutiré de chaque volume V1 ou sous-volume V11.

10

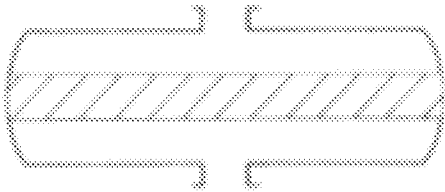
16. Procédé selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que les flux d'air ou de régénération sont introduits ou soutirés des différents volumes V1, V11, V3 et V32, préférentiellement par leurs côtés situés dans les faces latérales de la forme parallélépipédique de l'adsorbent A ou B ou par leurs côtés situés dans les bases de
- 15 la forme parallélépipédique de l'adsorbent A ou B.

[Fig. 1]

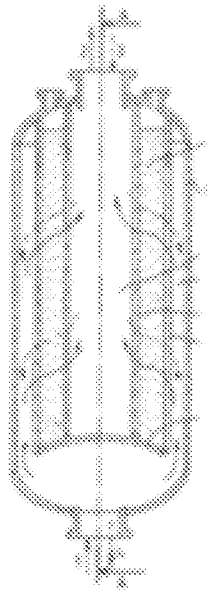
A.

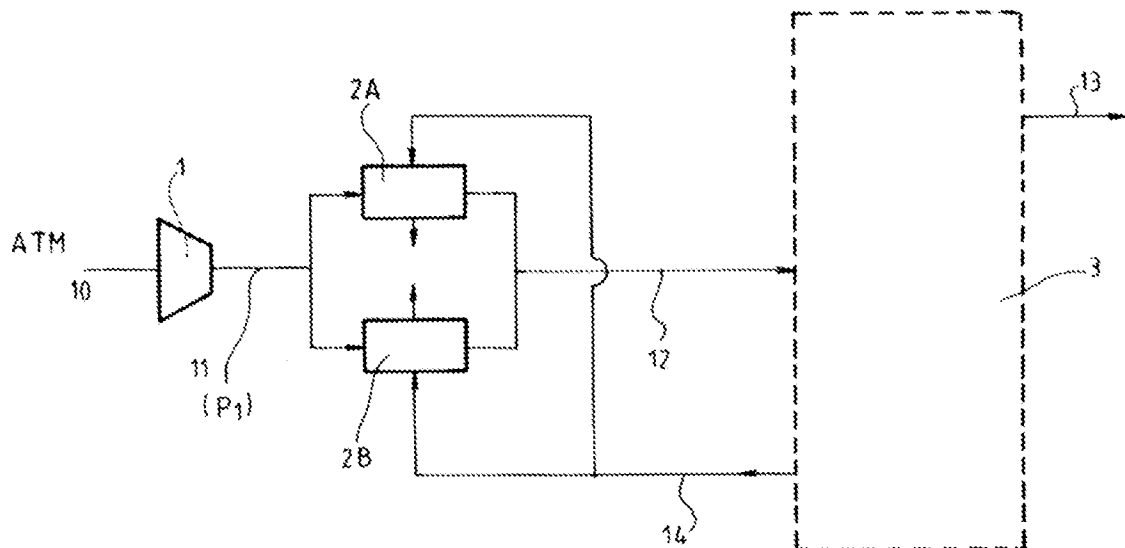
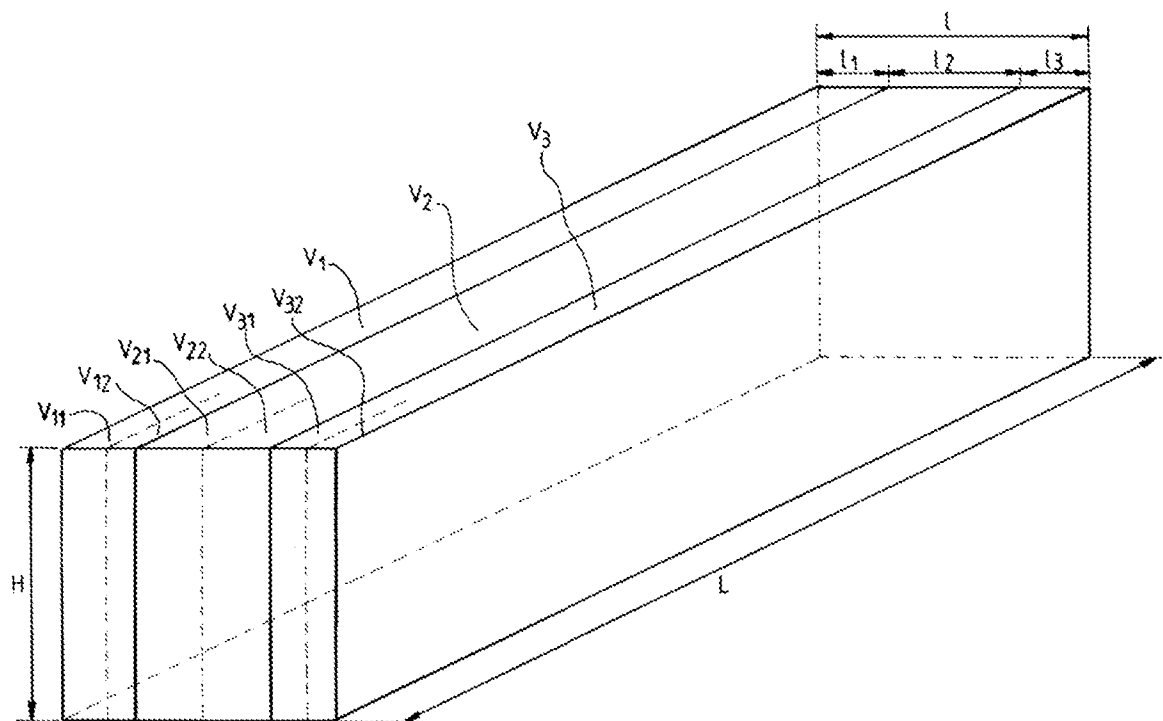


B.

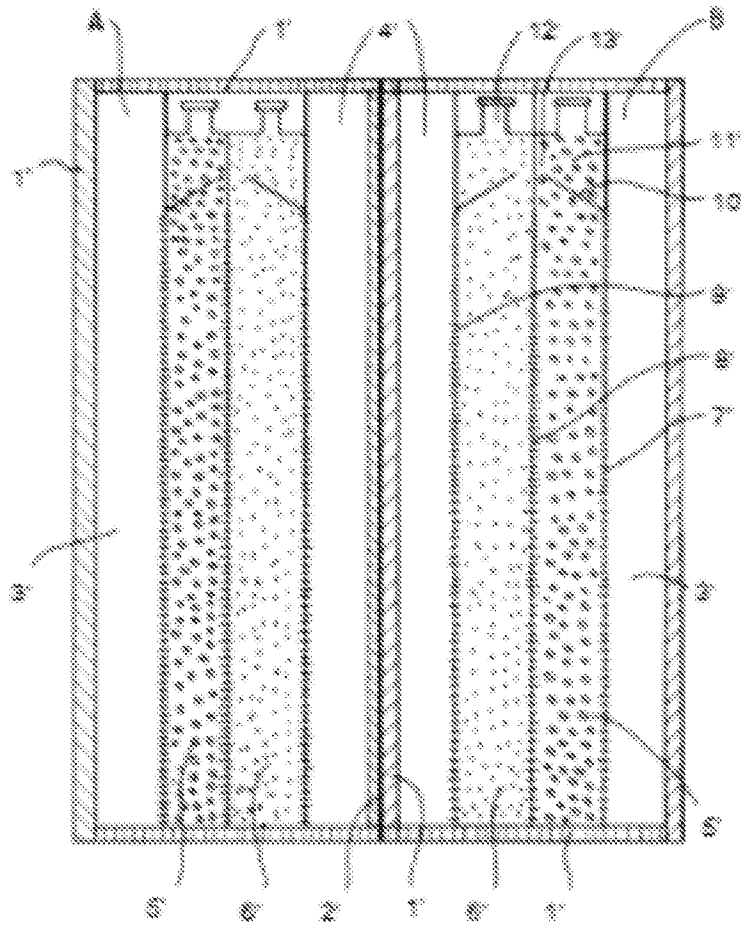


C.

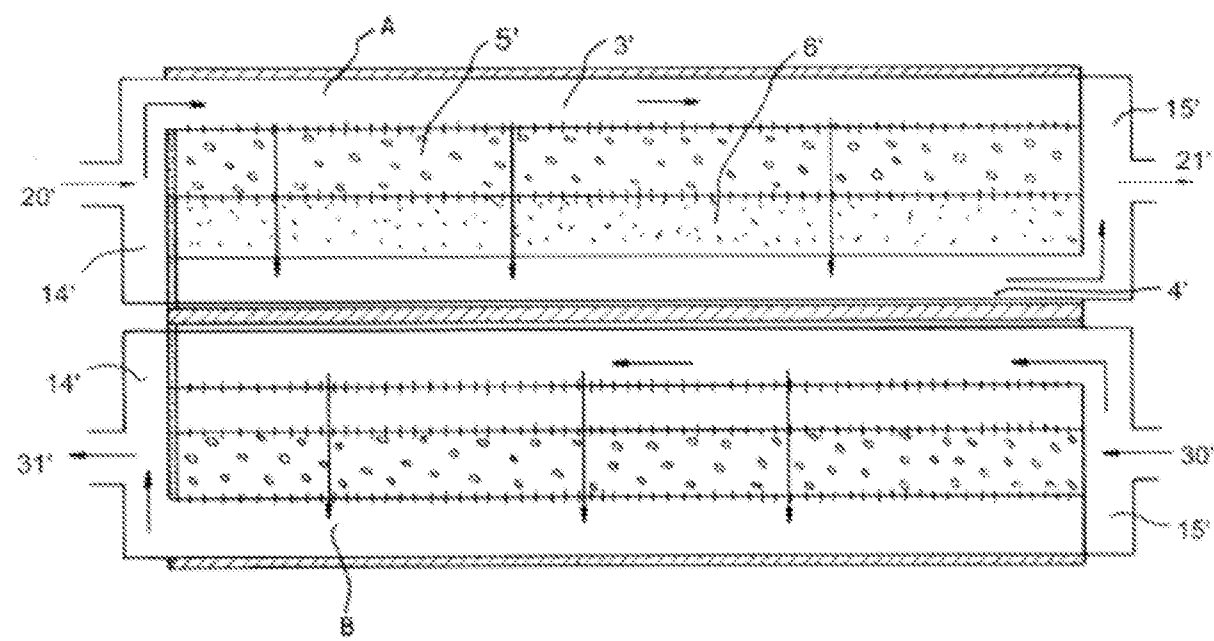


[Fig. 2]**[Fig. 3]**

[Fig. 4]



[Fig. 5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2020/050254

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER*F25J 3/04*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F25J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2006210454 A1 (SAXENA HIMANSHU [US] ET AL) 21 September 2006 (2006-09-21) paragraphs [0136], [0061], [0007]; figure 7	1-16
Y	FR 3052242 A1 (L'AIR LIQUIDE SA POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES C) 08 December 2017 (2017-12-08) page 7; figure 1	1-16
A	US 2018126319 A1 (FERSTL JOHANN [DE] ET AL) 10 May 2018 (2018-05-10) figure 1	1-16
A	US 2012167622 A1 (COGNARD MARIE [FR] ET AL) 05 July 2012 (2012-07-05) figure 1	1-16
A	US 5176721 A (HAY LEON [FR] ET AL) 05 January 1993 (1993-01-05) figures 1,2	1-16



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 May 2020

Date of mailing of the international search report

15 May 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Schopfer, Georg

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2020/050254

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
US	2006210454	A1	21 September 2006	AU	2003239922	A1	19 December 2003
				CN	1671461	A	21 September 2005
				US	2006210454	A1	21 September 2006
				WO	03101587	A1	11 December 2003
FR	3052242	A1	08 December 2017	NONE			
US	2018126319	A1	10 May 2018	BR	112017016786	A2	17 April 2018
				CA	2982967	A1	01 September 2016
				CL	2017002102	A1	18 May 2018
				CN	107405562	A	28 November 2017
				DE	102015002260	A1	25 August 2016
				EP	3061514	A1	31 August 2016
				EP	3261748	A1	03 January 2018
				JP	2018512266	A	17 May 2018
				KR	20170120663	A	31 October 2017
				RU	2017133118	A	25 March 2019
				TW	201637705	A	01 November 2016
				US	2018126319	A1	10 May 2018
				WO	2016134816	A1	01 September 2016
US	2012167622	A1	05 July 2012	AU	2010294093	A1	05 April 2012
				CA	2771205	A1	17 March 2011
				CN	102859303	A	02 January 2013
				EP	2475945	A2	18 July 2012
				FR	2949846	A1	11 March 2011
				JP	2013509558	A	14 March 2013
				US	2012167622	A1	05 July 2012
				WO	2011030050	A2	17 March 2011
				ZA	201201601	B	25 June 2014
US	5176721	A	05 January 1993	AU	648342	B2	21 April 1994
				AU	656692	B2	09 February 1995
				BR	9104404	A	09 June 1992
				CA	2053211	A1	12 April 1992
				DE	69106100	D1	02 February 1995
				DE	69106100	T2	24 May 1995
				EP	0480797	A1	15 April 1992
				EP	0612553	A2	31 August 1994
				ES	2065644	T3	16 February 1995
				FR	2667800	A1	17 April 1992
				JP	3281394	B2	13 May 2002
				JP	H05146624	A	15 June 1993
				US	5176721	A	05 January 1993
				ZA	9108051	B	29 July 1992

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2020/050254

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. F25J3/04 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) F25J		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 2006/210454 A1 (SAXENA HIMANSHU [US] ET AL) 21 septembre 2006 (2006-09-21) alinéas [0136], [0061], [0007]; figure 7 -----	1-16
Y	FR 3 052 242 A1 (L'AIR LIQUIDE SA POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES C) 8 décembre 2017 (2017-12-08) page 7; figure 1 -----	1-16
A	US 2018/126319 A1 (FERSTL JOHANN [DE] ET AL) 10 mai 2018 (2018-05-10) figure 1 -----	1-16
A	US 2012/167622 A1 (COGNARD MARIE [FR] ET AL) 5 juillet 2012 (2012-07-05) figure 1 -----	1-16
	-/-	
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 5 mai 2020		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 15/05/2020
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Schopfer, Georg

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 176 721 A (HAY LEON [FR] ET AL) 5 janvier 1993 (1993-01-05) figures 1,2 -----	1-16

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2020/050254

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2006210454	A1	21-09-2006	AU 2003239922 A1	19-12-2003
			CN 1671461 A	21-09-2005
			US 2006210454 A1	21-09-2006
			WO 03101587 A1	11-12-2003

FR 3052242	A1	08-12-2017	AUCUN	

US 2018126319	A1	10-05-2018	BR 112017016786 A2	17-04-2018
			CA 2982967 A1	01-09-2016
			CL 2017002102 A1	18-05-2018
			CN 107405562 A	28-11-2017
			DE 102015002260 A1	25-08-2016
			EP 3061514 A1	31-08-2016
			EP 3261748 A1	03-01-2018
			JP 2018512266 A	17-05-2018
			KR 20170120663 A	31-10-2017
			RU 2017133118 A	25-03-2019
			TW 201637705 A	01-11-2016
			US 2018126319 A1	10-05-2018
			WO 2016134816 A1	01-09-2016

US 2012167622	A1	05-07-2012	AU 2010294093 A1	05-04-2012
			CA 2771205 A1	17-03-2011
			CN 102859303 A	02-01-2013
			EP 2475945 A2	18-07-2012
			FR 2949846 A1	11-03-2011
			JP 2013509558 A	14-03-2013
			US 2012167622 A1	05-07-2012
			WO 2011030050 A2	17-03-2011
			ZA 201201601 B	25-06-2014

US 5176721	A	05-01-1993	AU 648342 B2	21-04-1994
			AU 656692 B2	09-02-1995
			BR 9104404 A	09-06-1992
			CA 2053211 A1	12-04-1992
			DE 69106100 D1	02-02-1995
			DE 69106100 T2	24-05-1995
			EP 0480797 A1	15-04-1992
			EP 0612553 A2	31-08-1994
			ES 2065644 T3	16-02-1995
			FR 2667800 A1	17-04-1992
			JP 3281394 B2	13-05-2002
			JP H05146624 A	15-06-1993
			US 5176721 A	05-01-1993
			ZA 9108051 B	29-07-1992
