



- (72) MILLET, Cyrille, FR
(72) BOURGEOIS, Philippe, FR
(72) KRAUS, Georges, FR
(72) GABILLARD, Jean-Pierre, FR
(71) L' AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ ANONYME POUR L'ÉTUDE ET
L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS GEORGES CLAUDE, FR
(51) Int.Cl.⁶ B01D 53/62, F25J 3/04
(30) 1997/12/08 (97/15490) FR
(54) **PROCEDE DE PURIFICATION D'AIR PAR ADSORPTION SUR
ALUMINE CALCINEE DES IMPURETES CO₂ ET H₂O**
(54) **AIR PURIFICATION SYSTEM VIA ADSORPTION ON CALCINE
ALUMINUM OXIDE OF CO₂ AND H₂O IMPURITIES**

(57) Procédé de purification d'un flux d'air contenant du dioxyde de carbone (CO₂) et de la vapeur d'eau, dans lequel on élimine au moins une partie des impuretés CO₂ et vapeur d'eau par adsorption desdites impuretés sur au moins une alumine calcinée contenant au plus 10 % en poids d'au moins un oxyde métallique alcalin ou alcalino-terreux, ladite adsorption étant réalisée à une température comprise entre -10°C et 80°C.

"PROCEDE DE PURIFICATION D'AIR PAR ADSORPTION SUR
ALUMINE CALCINEE DES IMPURETES CO₂ ET H₂O"

A B R E G E

Procédé de purification d'un flux d'air contenant du dioxyde de carbone (CO₂) et de la vapeur d'eau, dans lequel on élimine au moins une partie des impuretés CO₂ et vapeur d'eau par adsorption desdites impuretés sur au moins une alumine calcinée contenant au plus 10 % en poids d'au moins un oxyde métallique alcalin ou alcalino-terreux, ladite adsorption étant réalisée à une température comprise entre -10°C et 80°C.

Figure 4.

10 Le but de la présente invention est de proposer un
procédé de prétraitement ou purification de l'air
atmosphérique avant séparation cryogénique dudit air, en
particulier par distillation cryogénique.

15 Il est connu que l'air atmosphérique contient des
composés devant être éliminé avant l'introduction dudit
air dans les échangeurs thermiques de la boîte froide
d'une unité de séparation d'air, notamment les composés
dioxyde de carbone (CO_2) et vapeur d'eau (H_2O).

20 En effet, en l'absence d'un tel prétraitement de
l'air pour en éliminer ses impuretés CO_2 et eau, on
assiste à une condensation et à une solidification en
glace de ces impuretés lors du refroidissement de l'air à
température cryogénique, d'où il peut résulter des
problèmes de colmatage de l'équipement, notamment les
25 échangeurs thermiques, des colonnes de distillation...

30 En outre, il est également d'usage d'éliminer les
impuretés hydrocarbures susceptibles d'être présentes
dans l'air afin d'éviter leur trop forte concentration
dans le bas de la ou des colonnes de distillation, de
pallier ainsi tout risque d'explosion.

35 Actuellement, ce prétraitement de l'air est
effectué, selon le cas, par procédé TSA (Temperature
Swing Adsorption) ou par procédé PSA (Pressure Swing
Adsorption); par procédé PSA, on entend les procédés PSA
proprement-dits, les procédés VSA (Vacuum Swing
Adsorption), les procédés VPSA et analogues.

Classiquement, un cycle de procédé TSA comporte les étapes suivantes:

- a) purification de l'air par adsorption des impuretés à pression super-atmosphérique et à température ambiante,
- b) dépressurisation de l'adsorbeur jusqu'à la pression atmosphérique ou en-dessous de la pression atmosphérique,
- c) régénération de l'adsorbant à pression atmosphérique, notamment par les gaz résiduels ou gaz déchets, typiquement de l'azote impur provenant d'une unité de séparation d'air et réchauffé jusqu'à une température habituellement entre 100 et 200°C au moyen d'un ou plusieurs échangeurs thermiques,
- d) refroidissement à température ambiante ou sub-ambiante de l'adsorbant, notamment en continuant à y introduire ledit gaz résiduel issu de l'unité de séparation d'air, mais non réchauffé,
- e) repressurisation de l'adsorbeur avec de l'air purifié issu, par exemple, d'un autre adsorbeur se trouvant en phase de production.

Habituellement, un cycle de procédé PSA comporte, quant à lui, sensiblement les mêmes étapes a), b) et e), mais se distingue d'un procédé TSA par une absence de réchauffement du ou des gaz résiduels lors de l'étape de régénération (étape c)), donc l'absence de l'étape d) et, en général, un temps de cycle plus court qu'en procédé TSA.

Généralement, les dispositifs de prétraitement de l'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.

De tels procédés TSA de purification d'air sont notamment décrits dans les documents US-A-3738084 et FR-A-7725845.

En général, l'élimination du CO₂ et de la vapeur d'eau est effectuée sur plusieurs lits d'adsorbants, à savoir un premier adsorbant destiné à arrêter préférentiellement l'eau, par exemple un lit d'alumine
5 activée, de gel de silice ou de zéolites, et un deuxième lit d'adsorbant pour arrêter préférentiellement le CO₂, par exemple une zéolite. On peut citer notamment les documents US-A-5531808, US-A-5587003 et US-A-4233038.

Par contre, obtenir une élimination efficace du CO₂
10 et de la vapeur d'eau contenus dans l'air sur un même et unique lit d'adsorbant n'est pas chose aisée.

En effet, il est connu que l'eau présente une affinité pour les adsorbants nettement supérieure à celle du CO₂.

15 De là, l'adsorbant arrête, en général, plus facilement l'eau que le CO₂ et donc plus la quantité d'eau adsorbée est importante, plus la quantité de CO₂ adsorbée est faible.

En d'autres termes, la sélectivité des adsorbants
20 classiques est plus favorable à l'eau qu'au CO₂.

En outre, pour pouvoir régénérer un adsorbant saturé en eau, il est usuel de porter cet adsorbant à une température de régénération supérieure à 100°C.

Or, actuellement, très peu d'adsorbants mis en
25 oeuvre à l'échelle industrielle dans des unités TSA possèdent une structure physico-chimique susceptible de résister longtemps à un tel traitement hydrothermique; les matériaux de type alumine en font partie, alors que la plupart des matériaux de type zéolite sont à exclure.

30 En résumé, les adsorbants connus peuvent être classés en deux grandes catégories, à savoir:

- les adsorbants ayant une capacité d'adsorption du CO₂ élevée, mais seulement en l'absence de toute vapeur d'eau, c'est-à-dire les adsorbants efficaces pour
35 l'élimination du CO₂ présent dans un gaz sec,

- et les adsorbants destinés à éliminer spécifiquement la vapeur d'eau et ne présentant qu'une affinité faible, voire nulle, pour le CO_2 .

A ce titre, on peut citer le document US-A-5232474
5 qui décrit l'utilisation d'une alumine activée pour sécher et décarbonater l'air par un procédé PSA, dans le quel il est stipulé que l'eau est arrêtée par environ 175 mm de hauteur de lit d'adsorbant, alors que pour adsorber tout le CO_2 , il est nécessaire de prévoir 1020
10 mm de hauteur de lit. On comprend donc que le CO_2 et l'eau ne sont pas coadsorbés, mais arrêtés par des zones différentes du lit d'adsorbant.

Le but de la présente invention est donc de proposer un procédé de purification mettant en oeuvre un adsorbant
15 capable d'arrêter, si possible simultanément, sur une même portion de lit d'adsorbant, à la fois l'eau et le dioxyde de carbone susceptible de se trouver dans l'air atmosphérique, de manière à récupérer de l'air purifié, sensiblement exempt de CO_2 et/ou de vapeur d'eau, lequel
20 air pourra subséquemment être envoyé vers une unité de séparation d'air.

En outre, le fait d'adsorber à la fois la vapeur d'eau et le CO_2 sur un même lit d'adsorbant permet de diminuer la quantité d'adsorbant à utiliser, permet de
25 diminuer la complexité des adsorbeurs grâce à une suppression des grilles de séparations entre les différents lits d'adsorbant et permet donc de réduire les coûts et la consommation d'énergie des unités de séparation d'air.

30 Il a maintenant été constaté, de façon surprenante, qu'un adsorbant habituellement utilisé pour éliminer le dioxyde de carbone d'un flux d'hydrocarbures, telles les oléfines, peut être avantageusement utilisé dans un procédé de décarbonatation et dessiccation de l'air avant
35 séparation cryogénique dudit air; ledit adsorbant étant une alumine imprégnée par une solution alcaline et

calcinée, tel que décrit dans les documents US-A-4433981 et US-A-4493715.

A ce titre, il faut souligner que le but initialement visé par les documents US-A-4433981 et US-A-4493715 est d'éviter une isomérisation des chaînes d'hydrocarbures lors de cette purification et non une élimination spécifique du CO_2 ; ce problème d'isomérisation n'existant pas dans le cas de la purification d'air.

En effet, il a été mis en évidence, de manière inattendue, qu'une alumine calcinée pouvait arrêter simultanément, c'est-à-dire sur une même portion de lit d'adsorbant, l'eau et le dioxyde de carbone présents dans l'air atmosphérique, de préférence à température ambiante.

Dans le cadre de la présente invention, on appelle alumine calcinée, un adsorbant à base d'alumine activée obtenu, en général, à partir de la déshydratation rapide d'un hydroxyde d'aluminium, laquelle est mise en forme, sous forme de granulés ou de billes par exemples, puis imprégné par une solution saline et, finalement soumis à un séchage et à une calcination subséquente; un tel adsorbant peut, en outre, contenir de l'oxyde de silicium (SiO_2) en concentration non-négligeable.

En outre, il est à noter que le document EP-A-0766991 décrit un procédé de décarbonatation de l'air mettant en oeuvre un adsorbant de type alumine imprégnée par une solution basique ayant un pH d'au moins 9, laquelle est subséquentement séchée. Il faut souligner que ce document stipule que les aluminés imprégnés, c'est-à-dire non calcinés, ont une capacité d'adsorption pour le CO_2 supérieure aux autres adsorbants. De plus, ce document est totalement silencieux quant à la possibilité d'éliminer ou non la vapeur d'eau susceptible de se trouver dans l'air atmosphérique sur ladite alumine imprégnée.

Le but de la présente invention est de proposer un procédé de coadsorbition du CO_2 et de la vapeur d'eau susceptible de se trouver dans un flux d'air atmosphérique afin de pouvoir obtenir de l'air desséché et décarbonaté.

L'invention concerne alors un procédé de purification d'un flux d'air contenant du dioxyde de carbone (CO_2) et de la vapeur d'eau, dans lequel on élimine au moins une partie des impuretés CO_2 et vapeur d'eau, par adsorption desdites impuretés sur au moins une alumine calcinée contenant au plus 10 % en poids d'au moins un oxyde métallique alcalin ou alcalino-terreux, de préférence de 1 à 10% en poids, ladite adsorption étant réalisée à une température comprise entre -10°C et 80°C .

Dans le cadre de la présente invention on entend par air, non seulement de l'air atmosphérique, mais aussi de l'air ayant subi un prétraitement ou une modification de la teneur en l'un ou plusieurs de ces constituants, par exemple de l'air enrichi ou appauvri en azote ou en oxygène, ou de l'air préalablement au moins partiellement desséché, ledit air pouvant être collecté directement à l'atmosphère ou le cas échéant, à l'intérieur d'un bâtiment ou d'une enceinte chauffée ou non.

Selon le cas le procédé de l'invention peut comprendre l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes:

- au moins une alumine calcinée est obtenue par :

a) imprégnation d'un adsorbant à base d'alumine activée avec au moins une solution saline d'au moins un métal alcalin ou alcalino-terreux choisi parmi Li, Na, K, Mg, Ca, Sr et Ba;

b) séchage de l'adsorbant à base d'alumine imprégnée obtenu à l'étape a) à une température d'au moins 15°C , de préférence au moins 80°C ;

c) calcination de l'adsorbant à base d'alumine séchée obtenu à l'étape b) à une température d'au moins

120°C, de préférence entre 150°C et 600°C;

- au moins un métal alcalin ou alcalino-terreux est choisi parmi le calcium, le sodium, le potassium et leurs mélanges;

5 - l'alumine calcinée contient de 4 à 10 % en poids d'oxyde métallique alcalin ou alcalino-terreux, de préférence entre 5 et 8%, ou, selon le cas, au maximum 5% en poids d'oxyde métallique alcalin ou alcalino-terreux, de préférence de 1 à 4%, par exemples les oxydes
10 métalliques suivants: K_2O , Na_2O et CaO ;

- les particules d'alumine calcinée ont une taille comprise entre 1 et 5 mm, de préférence entre 2 et 4 mm;

- il comporte une élimination de la vapeur d'eau sur au moins une alumine calcinée;

15 - l'élimination du CO_2 et/ou de la vapeur d'eau est réalisée dans au moins un adsorbeur et, de préférence, dans au moins deux adsorbeurs fonctionnant de manière alternée;

20 - il est choisi dans le groupe formé par les procédés TSA et PSA;

- on opère à une pression d'adsorption de 10^5 à 10^7 Pa, de préférence $4 \cdot 10^5$ Pa à $5 \cdot 10^6$ Pa;

- on opère à une température de 10°C à 70°C, de préférence de 20°C à 55°C;

25 - il comprend au moins une étape de régénération de l'adsorbant à une température de régénération allant de 0°C à 250°C environ, de préférence entre 70°C et 200°C;

30 - il comprend au moins une étape de séparation cryogénique d'au moins une partie de l'air purifié, de préférence une étape de distillation cryogénique de l'air purifié.

La présente invention va maintenant être décrite plus en détail à l'aide d'exemples et en références aux figures annexées, données à titre illustratif mais non
35 limitatif.

La figure 1 représente l'évolution de la capacité d'adsorption en dioxyde de carbone (CO_2) pour une zéolite de type 13X classique en fonction de la température de l'air; la température (en $^{\circ}\text{C}$) est donnée en abscisses et la capacité d'adsorption (%) est donnée en ordonnées.

Il apparaît immédiatement que la zéolite 13X a une capacité d'adsorption du CO_2 qui diminue nettement lorsque la température de l'air à décarbonater augmente.

Or, si l'on souhaite réduire les coûts en investissement et en consommation d'énergie des unités des séparations d'air, il est nécessaire ou souhaitable de supprimer les groupes frigorifiques et les tours de refroidissement eau/gaz utilisés jusqu'alors.

Il s'ensuit, que dans ces conditions, l'air à purifier à une température généralement comprise entre 30°C et 40°C , c'est-à-dire une température pour laquelle les adsorbants de type zéolite deviennent très peu efficaces de par une capacité d'adsorption pour le CO_2 très faible.

En outre, la figure 2 représente la quantité d'eau contenue par de l'air saturé en vapeur d'eau à une pression de $5,5 \cdot 10^5$ Pa en fonction de la température de celui-ci; la température (en $^{\circ}\text{C}$) de l'air est donnée en abscisses et la quantité d'eau (en g/Nm^3) contenue dans ledit air est donnée en ordonnées. Il apparaît que la quantité d'eau contenue par l'air saturé en vapeur d'eau augmente lorsque la température dudit air augmente.

Au vu des figures 1 et 2, on comprend que, lorsque la température de l'air à purifier augmente, on assiste à une diminution de la capacité de décarbonatation (figure 1) et à une augmentation de la quantité d'eau à arrêter (figure 2), cette augmentation de la quantité d'eau à arrêter allant au détriment d'une décarbonatation correcte et efficace du flux d'air et donc à accentuer la diminution de la capacité d'adsorption en CO_2 de l'adsorbant.

De là, les capacités d'adsorption en CO_2 respectives de la zéolite 13X précitée, d'une alumine activée de type classique, c'est-à-dire non-calcinée, et de deux aluminés calcinées ont été mesurées et sont données dans le tableau I suivant.

Les aluminés calcinées testées sont obtenues par imprégnation d'une alumine par une solution saline alcaline, ici une solution de NaOH , puis séchage et calcination à une température supérieure à 150°C , de manière à obtenir une première alumine calcinée contenant environ 2% d'oxyde de sodium (Na_2O) et une deuxième alumine calcinée contenant environ 7% en masse d'oxyde de sodium.

On obtient le pourcentage massique d'oxyde de sodium désiré, en faisant varier la concentration et le volume de la solution saline; de manière connue de l'homme du métier.

Les essais expérimentaux sont réalisés dans une colonne de 300×60 mm avec, en tant que gaz vecteur, de l'azote à une pression de $6 \cdot 10^5$ Pa, à une température d'environ 27°C et contenant environ 450 ppm de CO_2 .

TABLEAU I

Adsorbant	Capacité d'adsorption en CO_2
Alumine activée non calcinée	0,22 mmol/g
Zéolite 13X	0,81 mmol/g
Alumine calcinée (2% Na_2O)	0,44 mmol/g
Alumine calcinée (7% Na_2O)	1,47 mmol/g

On constate au vu du tableau I, que la capacité d'adsorption en CO_2 d'une alumine calcinée est supérieure à celle d'une alumine activée non calcinée de type classique.

En outre, on voit également qu'augmenter la quantité

d'oxyde de sodium dans une alumine permet d'augmenter la capacité d'adsorption en CO_2 de cette alumine.

Ainsi, pour une alumine calcinée contenant environ 7% d'oxyde de sodium, on obtient, à température ambiante (ici environ 27°C), une capacité d'adsorption de celle-ci
5 nettement supérieure à celle obtenue au moyen d'une zéolite 13X classique.

Toutefois, on constate que pour une alumine calcinée ne contenant que 2% d'oxyde de sodium, la capacité
10 d'adsorption est inférieure à celle d'une zéolite 13X.

Cependant, ainsi que montré sur les figures 1 et 2, une zéolite 13X ne permet pas une coadsorption du CO_2 et de la vapeur d'eau susceptible de se trouver dans une flux d'air atmosphérique.

15 En d'autres termes, en présence simultanée de vapeur d'eau et de CO_2 , la capacité de coadsorption d'une alumine calcinée contenant 2% d'oxyde de sodium est supérieure à celle d'une zéolite 13X, ainsi que détaillé ci-après.

20 Les figures 3, 4 et 5 représentent, respectivement, les courbes de percée, c'est-à-dire de coadsorption du CO_2 et de la vapeur d'eau sur un adsorbant de type alumine activée non calcinée (figure 3), alumine calcinée contenant environ 2% d'oxyde de sodium (figure 4) et
25 alumine calcinée contenant environ 7% d'oxyde de sodium (figure 5).

Les mesures ont été effectuées dans des conditions analogues, à savoir une température de 27 à 28°C , une pression d'adsorption de 6 à $6,2 \cdot 10^5$ Pa et une humidité
30 relative de 42 à 50% environ.

Le flux à épurer contient environ 450 ppm de CO_2 (CO_2 in) et environ $3\,500$ ppm de vapeur d'eau (H_2O in).

Il apparaît sur la figure 3 que l'alumine activée non calcinée n'adsorbe que très peu de CO_2 (courbe CO_2
35 out) étant donné que l'on assiste à une percée quasi-immédiate dudit CO_2 , c'est-à-dire que celui-ci se

retrouve très rapidement en aval du lit d'adsorption, ce qui démontre sa faible co-adsorption par l'alumine activée non-calcinée.

Par contre, l'alumine activée non-calcinée permet de
5 retenir efficacement la vapeur d'eau contenu dans le flux à épurer (courbe H₂O out) celle-ci n'étant pas détectée pendant environ 200 minutes, puis perçant progressivement jusqu'à ne plus être retenue après environ 400 minutes.

Il en résulte que la capacité d'adsorption en CO₂
10 (Qads CO₂) d'une alumine activée non-calcinée est de 0,48% et que sa capacité d'adsorption en eau (Qads H₂O) est d'environ 12,61%.

De manière analogue on constate sur les figures 4 et
5 que, si la capacité d'adsorption en eau (Qads H₂O)
15 d'une alumine calcinée selon l'invention contenant, selon le cas, 2% ou 7% d'oxyde de sodium et sensiblement équivalente à la capacité d'adsorption en eau d'une alumine non-activée (figure 3), il n'en va pas de même en ce qui concerne l'adsorption du CO₂ par une telle alumine
20 calcinée.

En effet, on constate sur les figures 4 et 5 qu'une alumine contenant un oxyde de sodium est susceptible de coadsorber en même temps que l'eau, le CO₂ présent dans un flux d'air. On obtient alors, pour une alumine
25 calcinée à 2% d'oxyde de sodium une capacité d'adsorption du CO₂ de 1,26% et une capacité d'adsorption de l'eau de 10,58%, et pour une alumine activée à 7% d'oxyde de sodium une capacité d'adsorption de CO₂ de 5,23% et une capacité d'adsorption de l'eau de 11,98%.

30 En d'autres termes, une alumine calcinée contenant un oxyde de métal alcalin ou alcalino-terreux, tel un oxyde de sodium, a une capacité d'adsorption pour le CO₂ de 3 à 11 fois supérieure à celle d'une alumine activée non-calcinée classique et ce, pour une capacité
35 d'adsorption de l'eau sensiblement équivalente.

On constate, en outre, que la capacité d'adsorption en CO₂ d'une alumine activée augmente avec la proportion d'oxyde de métal alcalin ou alcalino-terreux qu'elle contient.

5 De là, il est préférable d'utiliser des aluminés calcinés contenant au moins 2%, et si possible au moins 4 à 5% environ d'un oxyde d'un métal alcalin ou alcalino-terreux, tel un oxyde de sodium.

10 De préférence, le procédé de purification selon l'invention est de type PSA lorsqu'on emploie une alumine calcinée contenant au plus 5% d'au moins un oxyde métallique alcalin ou alcalino-terreux.

15 En outre, pour une alumine calcinée contenant 1% à 10% environ, de préférence de 4% à 8%, d'oxyde métallique, le procédé de l'invention est avantageusement de type TSA.

20 Par ailleurs, dans certains cas, il peut être souhaitable d'éliminer également les impuretés hydrocarbures susceptibles d'être présentes dans l'air atmosphérique, par exemple sur un lit d'un adsorbant spécifique pour ces impuretés, tel un lit de zéolite ou de tout autre adsorbant analogue adéquat.

REVENDECATIONS

1. Procédé de purification d'un flux d'air contenant du dioxyde de carbone (CO_2) et de la vapeur d'eau, dans lequel on élimine au moins une partie des impuretés CO_2 et vapeur d'eau, par adsorption desdites impuretés sur au moins une alumine calcinée contenant au plus 10 % en poids d'au moins un oxyde métallique alcalin ou alcalino-terreux, ladite adsorption étant réalisée à une température comprise entre -10°C et 80°C .
- 10 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'au moins une alumine calcinée est obtenue par :
 - a) imprégnation d'un adsorbant à base d'alumine activée avec au moins une solution saline d'au moins un métal alcalin ou alcalino-terreux;
 - 15 b) séchage d'un adsorbant à base d'alumine imprégnée obtenu à l'étape a) à une température d'au moins 15°C ;
 - c) calcination d'un adsorbant à base d'alumine séchée obtenu à l'étape b) à une température d'au moins 120°C .
- 20 3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'au moins un métal alcalin ou alcalino-terreux est choisi parmi le sodium, le potassium, le calcium et leurs mélanges.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'alumine calcinée contient de 4 à 25 10 % en poids d'oxyde métallique alcalin ou alcalino-terreux.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'alumine calcinée contient au maximum 5% en poids d'oxyde métallique alcalin ou 30 alcalino-terreux.
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les particules d'alumine calcinée ont une taille comprise entre 1 et 5 mm.
- 35 7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'élimination du CO_2 et de la

vapeur d'eau est réalisée dans au moins un adsorbeur et, de préférence, dans au moins deux adsorbeurs fonctionnant de manière alternée.

5 8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il est choisi dans le groupe formé par les procédés TSA et PSA.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'on opère à une pression d'adsorption de 10^5 à 10^7 Pa.

10 10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une étape de séparation cryogénique d'au moins une partie de l'air purifié, de préférence une étape de distillation cryogénique de l'air purifié.

1/4

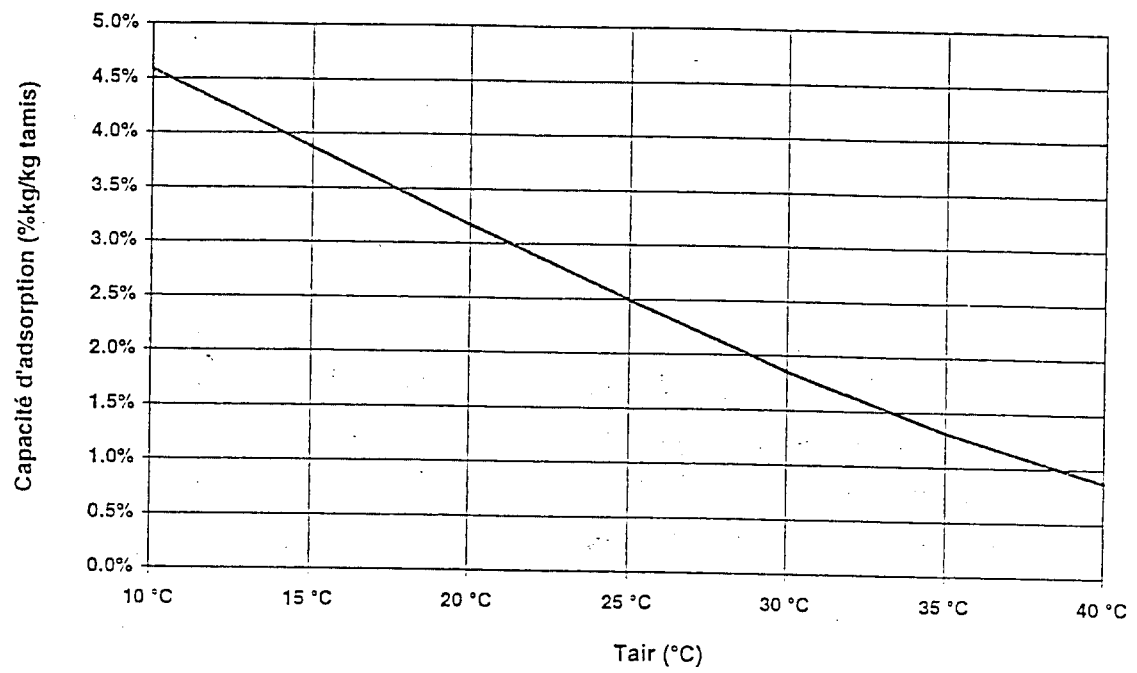
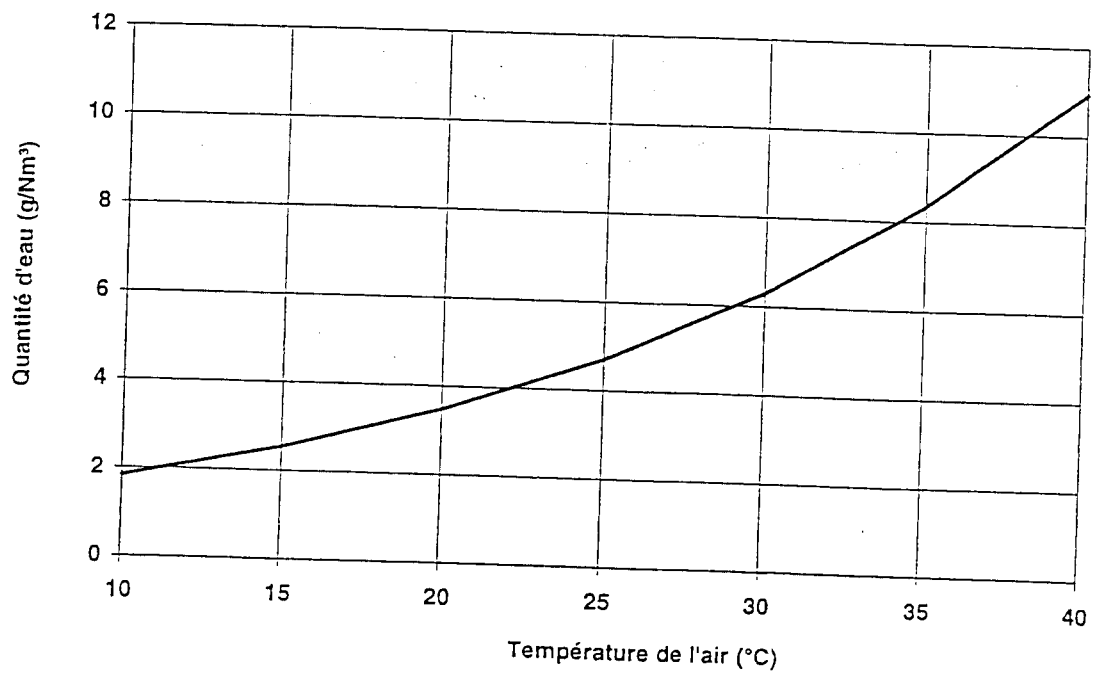
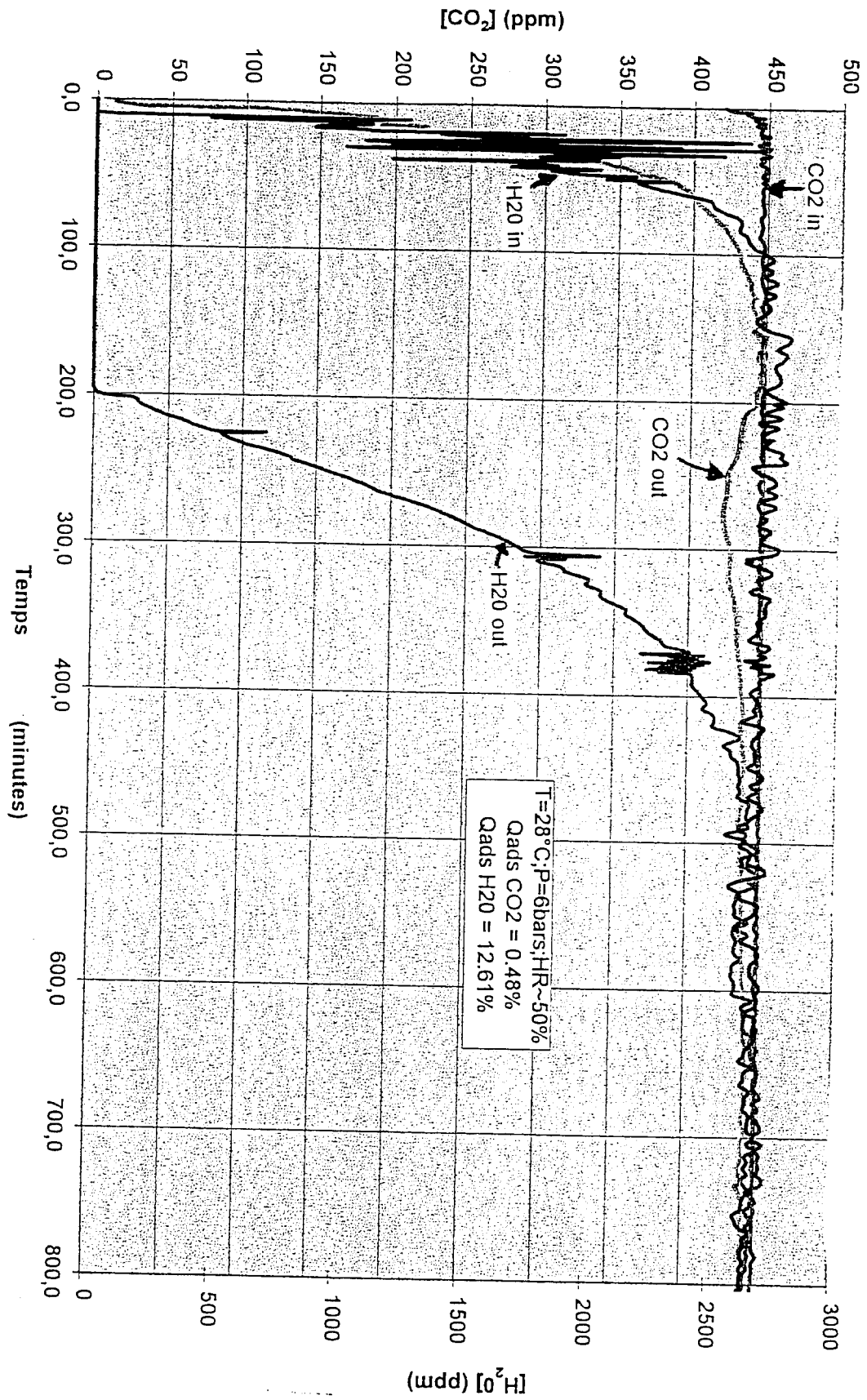


FIG. 1

FIG. 2



2/4



3/4

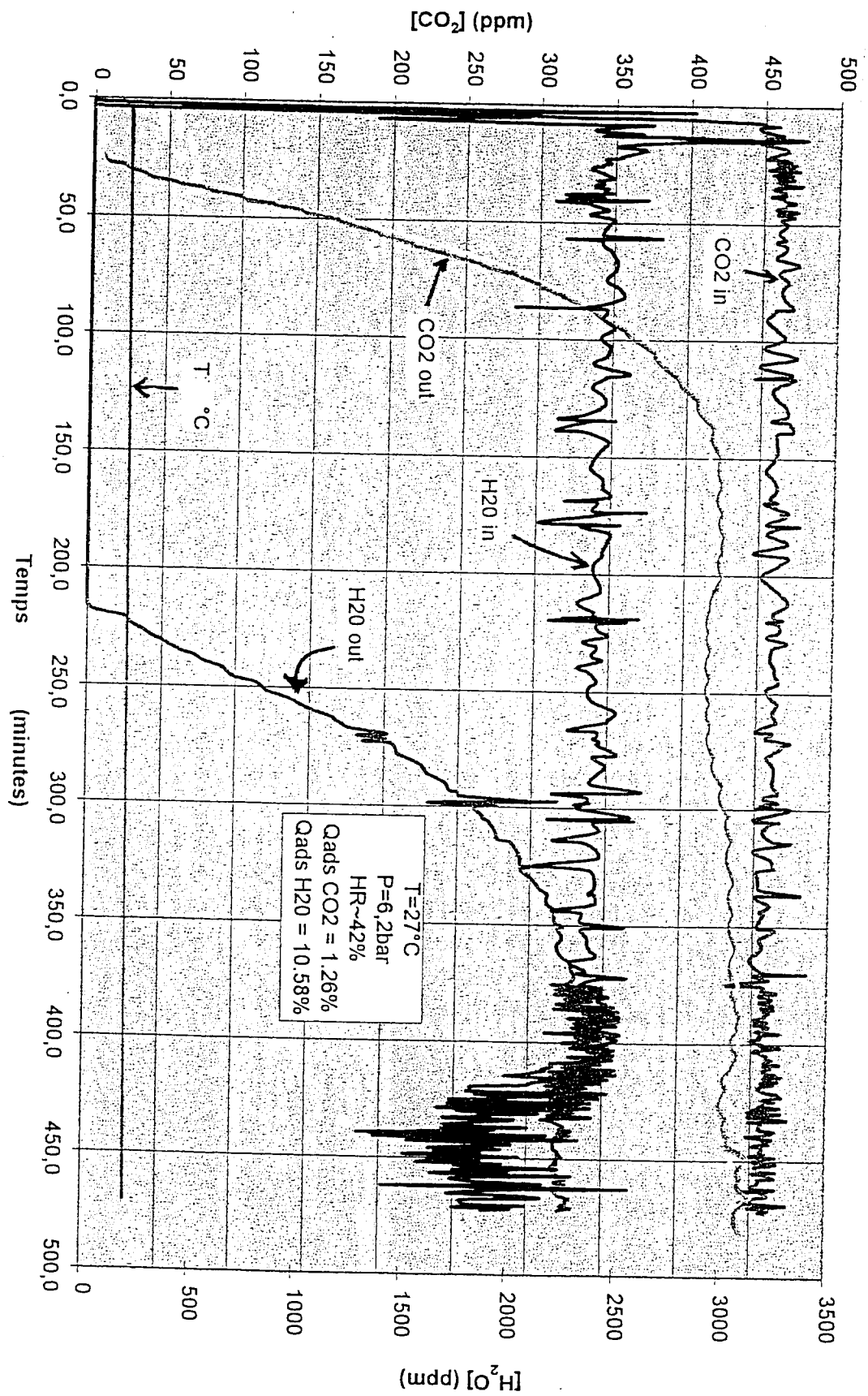


FIG. 4

4/4

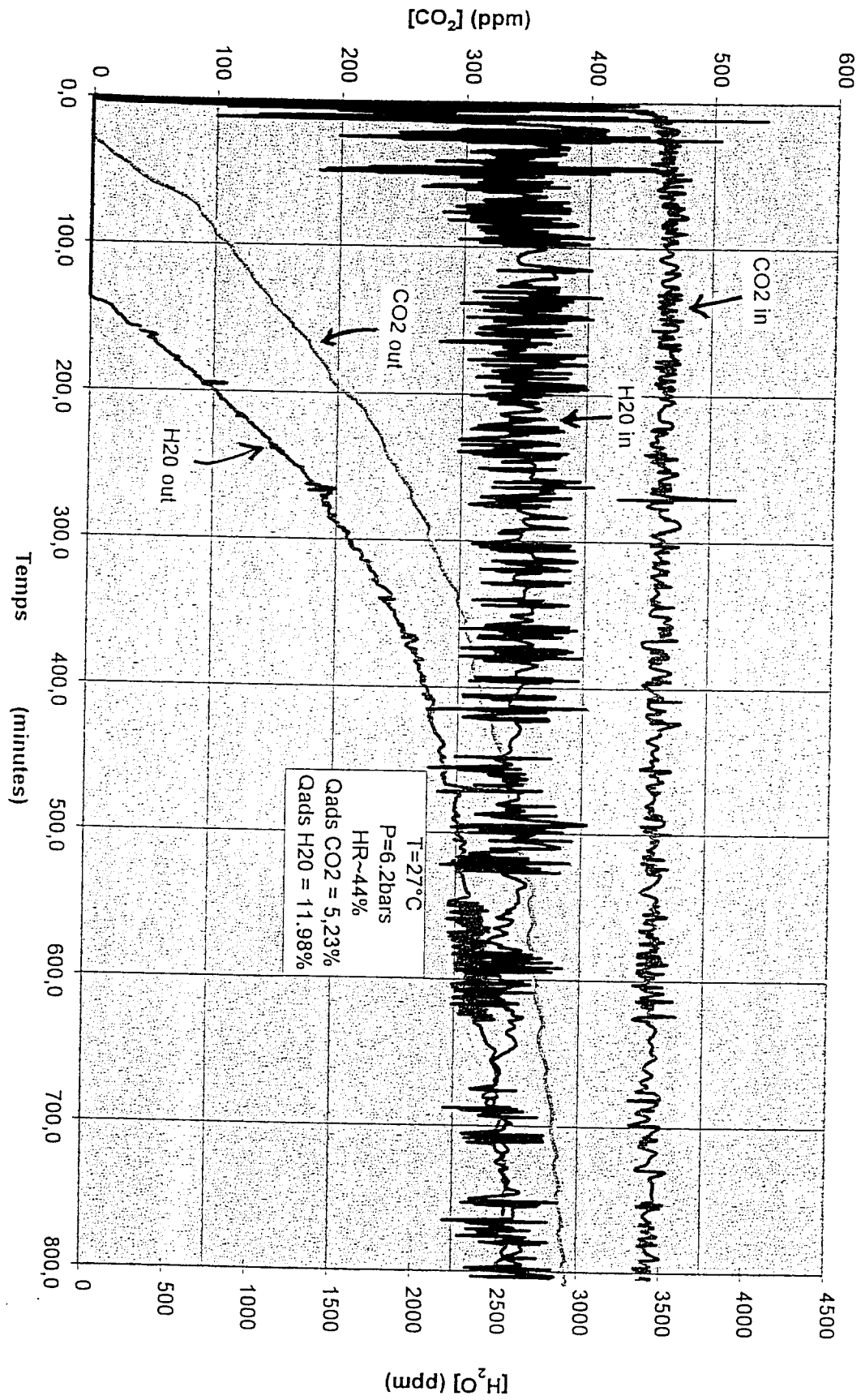


FIG. 5