



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : **94401213.7**

(51) Int. Cl.⁵ : **F25J 3/04**

(22) Date de dépôt : **02.06.94**

(30) Priorité : **18.06.93 FR 9307395**

(43) Date de publication de la demande :
21.12.94 Bulletin 94/51

(84) Etats contractants désignés :
BE DE ES FR IT NL

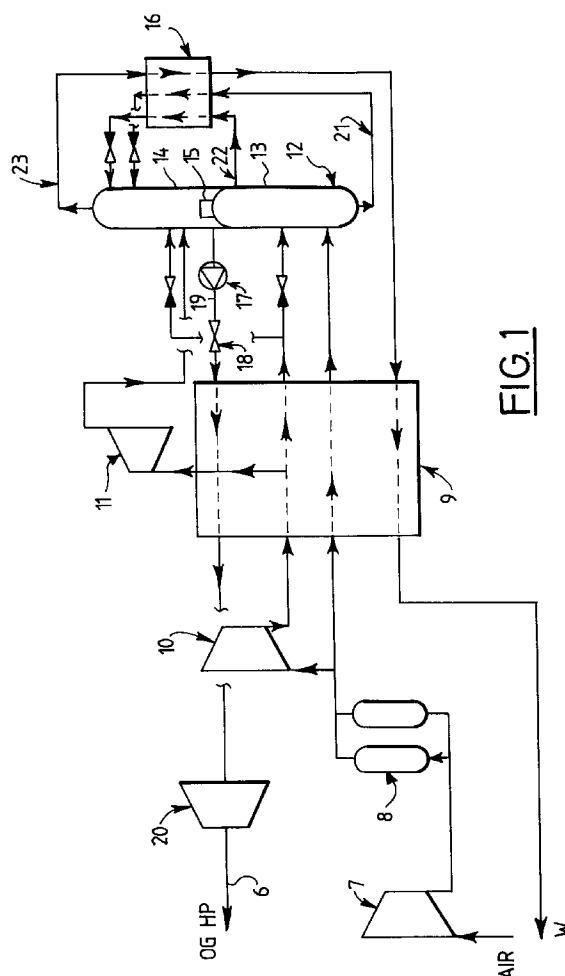
(71) Demandeur : **L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE**
75, Quai d'Orsay
F-75321 Paris Cédex 07 (FR)

(72) Inventeur : **Chretien, Denis**
3 Villa Marcès
F-94160 Saint Mande (FR)

(74) Mandataire : **Robson, Fiona Susan et al**
L'Air Liquide,
Service Brevets et Marques,
75, quai d'Orsay
F-75321 Paris Cédex 07 (FR)

(54) **Procédé et installation de production d'oxygène et/ou d'azote sous pression à débit variable.**

(57) Dans ce procédé du type à pompe (17), le débit variable de gaz sous pression est obtenu en faisant varier le débit du liquide à vaporiser dans la ligne d'échange thermique (9) et la pression de vaporisation du liquide.



La présente invention est relative à la production d'oxygène et/ou d'azote gazeux sous pression à débit variable. Elle concerne en premier lieu un procédé de production d'un débit variable d'au moins un constituant principal de l'air sous pression, du type dans lequel on soutire le constituant sous forme liquide d'un appareil de distillation d'air, on amène ce liquide à une pression de vaporisation, et on vaporise le liquide sous la pression de vaporisation par échange de chaleur avec un fluide calorigène sous haute pression.

L'application principale de l'invention est la production d'oxygène gazeux sous pression à débit variable, et c'est pourquoi on expliquera ci-dessous l'invention en référence à cette application.

Les pressions dont il est question ci-dessous sont des pressions absolues.

Les appareils de distillation d'air sont généralement du type à double colonne et comprennent une colonne moyenne pression et une colonne basse pression couplées par un vaporiseur-condenseur. Dans les appareils dits "à pompe", de l'oxygène liquide soutiré en cuve de la colonne basse pression est pompé jusqu'à une pression relativement élevée, puis est vaporisé sous cette pression, généralement dans la ligne d'échange thermique associée à la double colonne et par échange de chaleur avec de l'air en cours de liquéfaction.

Cette technique, qui permet très avantageusement d'économiser un compresseur d'oxygène gazeux, délicat à mettre en oeuvre, est toutefois limitée par le fait que la pression de l'air calorigène augmente rapidement avec la pression de vaporisation de l'oxygène. Ainsi, une pression de vaporisation de 12 bars correspond à une pression d'air de 25 bars environ. On arrive donc rapidement à des pressions d'air voisines de la pression critique (environ 38 bars), pour laquelle le palier de condensation de l'air disparaît. Il faut alors comprimer à la haute pression un débit d'air très important, et la consommation d'énergie devient rédhibitoire.

C'est pourquoi, pour produire l'oxygène sous pression élevée, typiquement de l'ordre de 40 à 50 bars, il est usuel de vaporiser l'oxygène sous une pression intermédiaire, typiquement de l'ordre de 12 bars, et de comprimer l'oxygène gazeux sous cette pression sortant du bout chaud de la ligne d'échange thermique. C'est ce contexte auquel s'intéresse principalement l'invention, qui sera expliquée dans cette application.

Lorsque la demande en oxygène sous pression varie, il se produit les phénomènes suivants, qui vont être expliqués en regard des Figures 2 et 3 des dessins annexés.

Il existe pour chaque composant de l'installation une relation entre la pression opératoire et le débit, appelée courbe caractéristique. On peut classer les éléments en deux catégories suivant l'allure des courbes caractéristiques :

(1) Les compresseurs : Pour un compresseur centrifuge, en première approximation, la courbe caractéristique 1 relie le taux de compression TC au débit réel D aspiré (Figure 2).

Lorsque le débit diminue, le taux de compression augmente. En dessous d'un certain débit apparaît le phénomène de pompage, qui est un mode de fonctionnement instable et dangereux pour la machine. Il n'est donc pas possible de diminuer le débit en deçà d'une limite 2, le lieu de ces limites formant une courbe 3 appelée courbe d'anti-pompage. Pour une vitesse de rotation donnée et une géométrie de compresseur donnée, la courbe caractéristique est unique. On peut changer de courbe caractéristique, soit en modifiant la vitesse de rotation, soit en agissant sur des organes particuliers appelés aubages ou aubes variables (ou mobiles).

Par ailleurs, suivant l'endroit où se trouve le point opératoire sur la courbe caractéristique, le rendement du compresseur est affecté. Les courbes équirendements sont montrées en 4 sur la Figure 2. Les courbes centrales correspondent aux meilleurs rendements pour des points opératoires relativement proches de la courbe d'anti-pompage.

(2) Les éléments statiques (appareil d'épuration par adsorption et ligne d'échange thermique) :

La courbe caractéristique 5 est beaucoup plus simple (Figure 3). C'est une courbe pression P/débit D monotone, croissante, passant par l'origine.

Lorsque le débit varie, les points opératoires des différents composants se déplacent sur des caractéristiques qui ne sont pas nécessairement compatibles entre elles. Il faut donc ajouter des moyens de réglage, qui sont des vannes ou des aubages.

Lorsque le débit d'oxygène produit diminue, le compresseur d'oxygène suit sa courbe caractéristique, et le taux de compression augmente. Sur un compresseur en ligne classique, à vitesse constante et sans aubage variable, il est usuel d'installer une vanne à l'aspiration du compresseur pour diminuer la pression d'aspiration et permettre ainsi l'augmentation du taux de compression et l'obtention de la pression de production demandée. Le point opératoire se déplace alors de A en B (Figure 2). Ce laminage représente cependant une perte d'énergie à bas débit.

On peut limiter cette perte en utilisant un compresseur équipé à son entrée d'aubages variables, ce qui permet de changer de caractéristique. Il n'y a alors plus besoin de laminer à l'aspiration, et le point opératoire se déplace de A en C lorsque l'on passe au débit réduit. Toutefois, l'utilisation d'aubages variables sur un compresseur d'oxygène est délicate et peu répandue.

D'autre part, lorsque le débit d'oxygène diminue, le débit du surpresseur d'air doit diminuer également pour équilibrer le bilan thermique, et le débit d'air entrant doit lui aussi, du moins si l'installation ne produit pas de liquide, être réduit pour équilibrer le bilan ma-

tière. La courbe de la Figure 3, applicable à la ligne d'échange thermique, montre que la pression de l'appareil de distillation, et en particulier la moyenne pression, baisse. La haute pression étant constante, le taux de compression du surpresseur augmente donc, et le point opératoire suit sa courbe caractéristique, qui est de nouveau du type représenté sur la Figure 2. Pour ce surpresseur d'air, il est plus facile d'utiliser des compresseurs, dits à multiplicateur intégré, à aubages variables, et l'adaptation de la caractéristique du compresseur à celle de la double colonne se fait aisément. Toutefois, la souplesse demandée affecte le rendement de la façon suivante puisqu'il n'est pas possible que le débit réduit (par exemple le point B sur la Figure 2) soit inférieur à celui du pompage, le point de fonctionnement normal A se trouve rejeté vers la droite, vers les courbes équi-
rendement à bas rendement. Il est d'ailleurs à noter que le compresseur d'oxygène est pénalisé de la même manière en fonctionnement à débit normal.

En résumé, on voit que la souplesse demandée sur le débit d'oxygène sous pression a des conséquences défavorables sur la consommation d'énergie, d'une part du fait du laminage de l'oxygène gazeux, d'autre part du fait de la nécessité de faire travailler les compresseurs d'oxygène et le surpresseur d'air avec des rendements relativement médiocres.

L'invention a pour but d'améliorer les performances globales de l'installation, tant aux débits réduits qu'au débit nominal, sans pour autant avoir recours à des aubages variables, délicats à mettre en oeuvre, pour le compresseur final.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé du type précité, caractérisé en ce que l'on règle le débit dudit constituant produit en modifiant le débit du liquide à vaporiser et ladite pression de vaporisation.

Le procédé peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- la pression de vaporisation est intermédiaire entre la pression de soutirage et la pression de production, et on comprime jusqu'à la pression de production le gaz résultant de la vaporisation;
- on effectue ladite modification de manière à permettre au compresseur du gaz résultant de suivre sa courbe caractéristique;
- pour effectuer ladite modification, on lamine de manière variable le liquide à vaporiser;
- pour effectuer ladite modification, on pompe à vitesse variable le liquide envoyé dans l'échangeur de chaleur de vaporisation.
- pour effectuer ladite modification, on pompe un débit constant du liquide, et on en renvoie le débit variable vers l'appareil de distillation, le reste du liquide étant vaporisé.

L'invention a également pour objet une installation pour la mise en oeuvre d'un tel procédé. Cette installation, du type comprenant un appareil de distil-

lation d'air, des moyens pour soutirer un liquide de cet appareil, des moyens pour amener le liquide soutiré à une pression de vaporisation, un compresseur de fluide calorigène, et un échangeur de chaleur pour vaporiser le liquide sous ladite pression de vaporisation par échange de chaleur avec le fluide calorigène sous haute pression, est caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens de réglage du débit du liquide à vaporiser et de ladite pression de vaporisation.

Un exemple de mise en oeuvre de l'invention va maintenant être décrit en regard des dessins annexés, sur lesquels :

- la Figure 1 représente schématiquement une installation de production d'oxygène gazeux conforme à l'invention ;
- la Figure 2 est une courbe caractéristique du fonctionnement des compresseurs de cette installation ;
- la Figure 3 est une courbe caractéristique du fonctionnement des composants passifs de l'installation ;
- la Figure 4 illustre les avantages apportés par l'invention ; et
- la Figure 5 est une vue schématique partielle d'une variante.

L'installation représentée sur la Figure 1 est destinée à fournir un débit variable d'oxygène gazeux sous haute pression, par exemple sous environ 40 bars, via une conduite de sortie de produit 6. Elle comprend essentiellement : un compresseur d'air atmosphérique 7 ; un appareil 8 d'épuration en eau et en anhydride carbonique par adsorption ; une ligne d'échange thermique 9 ; un surpresseur d'air 10 à aubages variables ; une turbine de détente 11 ; une double colonne de distillation 12 comprenant elle-même une colonne moyenne pression 13 surmontée d'une colonne basse pression 14, la tête de la colonne 13 étant couplée à la cuve de la colonne 14 par un vaporiseur-condenseur 15 ; un sous-refroidisseur 16 une pompe d'oxygène liquide 17 à vitesse de rotation constante ; une vanne de laminage 18 montée dans la conduite de refoulement 19 de cette pompe ; et un compresseur d'oxygène 20 dépourvu d'aubages variables.

La double colonne est équipée des conduites habituelles 21 de remontée de "liquide riche" (air enrichi en oxygène), 22 de remontée de "liquide pauvre" (azote à peu près pur), ces deux conduites reliant la colonne moyenne pression à la colonne basse pression et étant équipées de vannes de détente respectives, et 23 d'évacuation du gaz résiduaire W (azote impur) issue du sommet de la colonne 14, le gaz résiduaire sous-refroidissant le liquide riche et le liquide pauvre dans le sous-refroidisseur 16.

En fonctionnement nominal, l'air atmosphérique, comprimé en 7 à la moyenne pression de la colonne 13 et épuré en 8, est divisé en deux courants : un premier courant qui est refroidi en 9 jusqu'au voisinage

de son point de rosée et introduit en cuve de la colonne 13 ; et un second courant qui est surpressé en 10 à une haute pression adaptée à la pression de vaporisation de l'oxygène liquide. L'air surpressé est refroidi en 9 jusqu'à une température intermédiaire T, à laquelle il est divisé en deux fractions : une première fraction qui poursuit son refroidissement et est liquéfiée, et éventuellement sous-refroidie, jusqu'au bout froid de la ligne d'échange thermique, puis est répartie entre les colonnes 13 et 14 après détente dans des vannes de détente correspondantes ; et une seconde fraction qui est sortie de la ligne d'échange thermique, détendue en 11 à la basse pression et introduite dans la colonne 14, cette détente assurant le maintien en froid de l'installation. En variante, la turbine pourrait détendre de l'air à la moyenne pression, l'air détendu étant alors introduit dans la colonne 13.

De l'oxygène liquide est soutiré en cuve de la colonne 14 et amené par la pompe 17 à une pression intermédiaire. La vanne 18 est en position d'ouverture maximale, de sorte que cette pression intermédiaire est sensiblement la pression de vaporisation de l'oxygène liquide dans la ligne d'échange thermique. L'oxygène vaporisé sortant, au voisinage de la température ambiante, du bout chaud de la ligne d'échange thermique est ensuite comprimé à la pression de production par le compresseur 20.

Lorsque la demande en oxygène diminue, on étrangle le courant d'oxygène liquide à pression intermédiaire sortant de la pompe 17, au moyen de la vanne 18. La pression de vaporisation de l'oxygène baisse alors en même temps que le débit d'oxygène liquide, et l'étranglement est réglé de façon à permettre au compresseur 20 de suivre sa courbe caractéristique. On réduit en même temps le débit d'air traité, pour équilibrer le bilan matière, et on réduit également la haute pression de l'air, pour maintenir le même écart de température entre l'air à liquéfier et l'oxygène à vaporiser. Ainsi, le taux de compression du surpresseur 10 augmente nettement moins, lorsqu'on passe du débit nominal au débit réduit, que dans la technique antérieure, rappelée plus haut, où l'on lamine le courant d'oxygène gazeux qui alimente le compresseur 20, ce qui correspond à un gain en énergie.

En considérant la Figure 4, la comparaison peut se faire de la manière suivante : dans la technique antérieure, en jouant sur les aubages variables du surpresseur 10, le point opératoire passe de A, pour le débit nominal, à B, pour le débit réduit. En laminant le liquide, le point opératoire à débit réduit passe en C.

Par suite, on peut concevoir le surpresseur de manière à décaler vers la droite la courbe d'anti-pompage, qui passe de 3 en 3A. Les courbes d'efficacité se décalent d'autant vers la droite, de 4 en 4A, et le fonctionnement à débit nominal s'effectue alors avec un meilleur rendement.

Ainsi, on voit que la simple installation d'une van-

ne d'étranglement sur la conduite de refoulement de la pompe 17 permet d'obtenir à la fois un gain en énergie aux faibles débits et un gain en rendement, et donc en énergie, au débit nominal.

Le même principe de variation de la pression de vaporisation de l'oxygène liquide en fonction du débit d'oxygène gazeux à produire peut être mis en oeuvre par d'autres moyens que la vanne 18, tous ces moyens pouvant être utilisés seuls ou en combinaison les uns avec les autres : en entraînant la pompe 17 au moyen d'un moteur à vitesse variable, ou encore, comme représenté sur la Figure 5, en renvoyant un débit variable d'oxygène liquide, commandé par une vanne 24, du refoulement de la pompe vers la cuve de la colonne 14. Il est à noter que sur la Figure 5, les autres parties de l'installation, qui sont identiques à celles de la Figure 1, ont été omises pour plus de clarté.

En variante encore, la pression de l'oxygène liquide soutiré de la double colonne peut être augmentée sans utilisation d'une pompe, par une hauteur hydrostatique créée dans une conduite descendante.

L'invention s'applique aussi bien aux appareils de distillation d'air ayant leur propre compresseur d'air moyenne pression, comme décrit plus haut, qu'aux appareils intégrés à une turbine à gaz.

Par ailleurs, l'invention s'applique également à la production d'azote sous haute pression à débit variable. Elle apporte le même avantage vis-à-vis du surpresseur d'air (ou, plus généralement, du compresseur de cycle du fluide calorigène assurant la vaporisation), et permet d'utiliser un compresseur final d'azote sans aubages variables, et donc plus économique.

Comme on le comprend, l'invention s'applique également au cas où l'installation ne comporte pas de compresseur final 20. La pression de l'oxygène produit est alors fonction du débit d'oxygène vaporisé et est définie par la courbe caractéristique de l'équipement consommateur.

Revendications

1. Procédé de production d'un débit variable d'au moins un constituant principal de l'air sous pression, du type dans lequel on soutire le constituant sous forme liquide d'un appareil de distillation d'air (12), on amène ce liquide à une pression de vaporisation, et on vaporise le liquide sous la pression de vaporisation par échange de chaleur (en 9) avec un fluide calorigène sous haute pression, caractérisé en ce qu'on règle le débit dudit constituant produit en modifiant le débit du liquide à vaporiser et ladite pression de vaporisation.
2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la pression de vaporisation est intermé-

diaire entre la pression de soutirage et la pression de production, et en ce qu'on comprime jusqu'à la pression de production (en 20) le gaz résultant de la vaporisation.

3. Procédé suivant la revendication 2, caractérisé en ce qu'on effectue ladite modification de manière à permettre au compresseur (20) du gaz résultant de suivre sa courbe caractéristique (1).

4. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que, pour effectuer ladite modification, on lamine de manière variable (en 18) le liquide à vaporiser.

5. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que, pour effectuer ladite modification, on pompe à vitesse variable (en 17) le liquide envoyé dans l'échangeur de chaleur de vaporisation (9).

6. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que, pour effectuer ladite modification, on pompe un débit constant du liquide, et on en renvoie un débit variable (en 24) vers l'appareil de distillation (12), le reste du liquide étant vaporisé.

7. Installation de production d'un débit variable d'au moins un constituant principal de l'air sous pression, du type comprenant un appareil de distillation d'air (12), des moyens pour soutirer un liquide de cet appareil, des moyens (17) pour amener le liquide soutiré à une pression de vaporisation, un compresseur (10) de fluide calorigène, et un échangeur de chaleur (9) pour vaporiser le liquide sous ladite pression de vaporisation par échange de chaleur avec le fluide calorigène sous haute pression, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens (18;24) de réglage du débit du liquide à vaporiser et de ladite pression de vaporisation.

8. Installation suivant la revendication 7, caractérisée en ce qu'elle comprend un compresseur (20) pour amener le gaz résultant de ladite vaporisation à la pression de production.

9. Installation suivant la revendication 8, caractérisée en ce que le compresseur (20) est dépourvu d'aubages variables à son entrée et/ou est entraîné par un moteur à vitesse constante.

10. Installation suivant l'une quelconque des revendications 7 à 9, caractérisée en ce qu'elle comprend une pompe (17) à vitesse constante reliée en amont à l'appareil de distillation (12) et en aval à des passages de vaporisation du liquide de

l'échangeur de chaleur (9), et en ce que les moyens de réglage comprennent une vanne d'étranglement (18) montée dans la conduite de refoulement de cette pompe.

11. Installation suivant l'une quelconque des revendications 7 à 9, caractérisée en ce qu'elle comprend une pompe entraînée par un moteur à vitesse variable, reliée en amont à l'appareil de distillation (12) et en aval à des passages de vaporisation du liquide de l'échangeur de chaleur (9).

12. Installation suivant la revendication 10 ou 11, caractérisée en ce qu'elle comporte une conduite de retour, équipée d'une vanne de réglage de débit (24), reliant le refoulement de la pompe (17) à l'appareil de distillation (12).

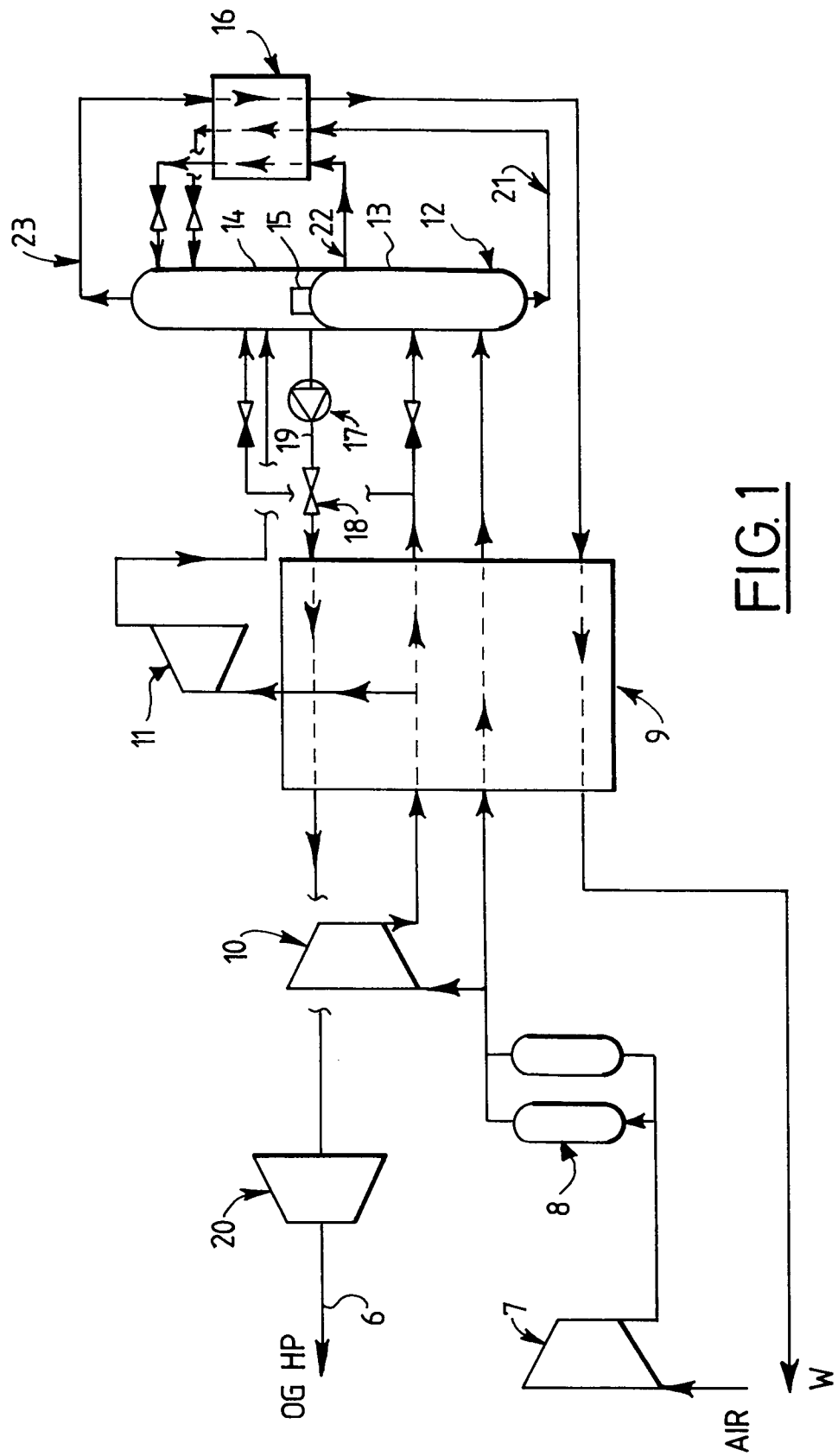
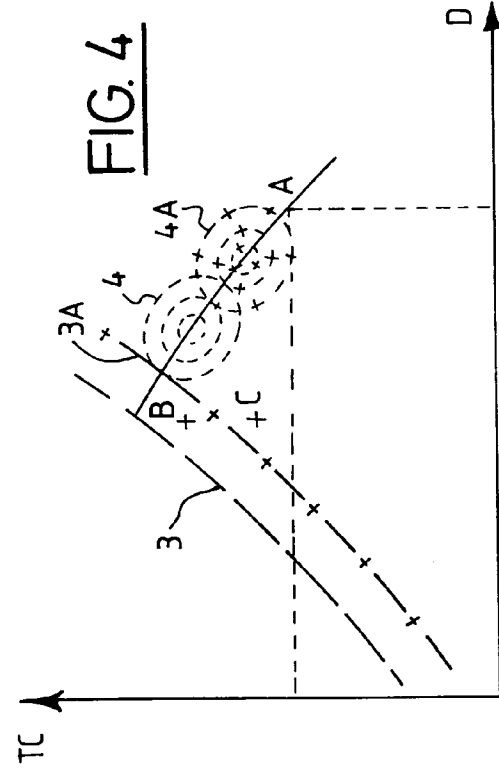
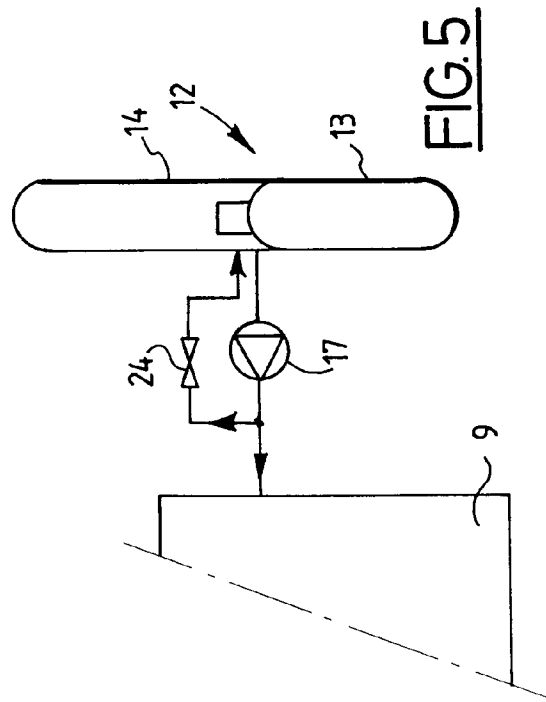
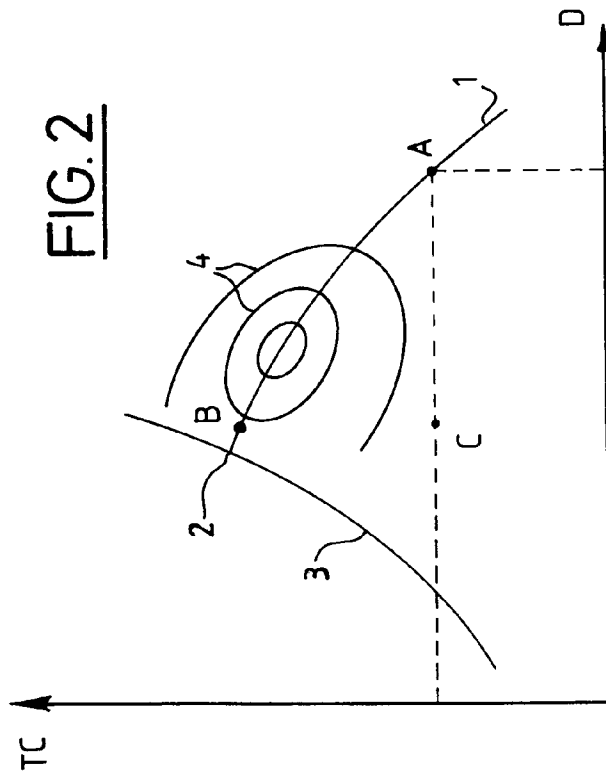
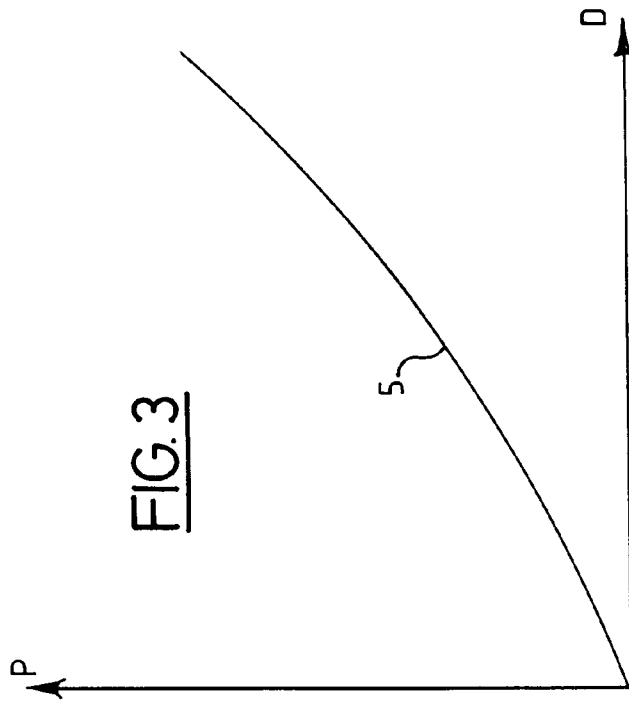


FIG. 1





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 94 40 1213

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.5)
A	US-A-3 214 925 (LINDE'S EISMASCHINEN AG) * colonne 1, ligne 12 - ligne 19 * * colonne 2, ligne 63 - colonne 3, ligne 45 * * figure 1 *	1,2,7,8	F25J3/04
A	EP-A-0 029 656 (AIR PRODUCTS AND CHEMICALS) * résumé * * page 2, alinéa 2 -alinéa 5 * * page 4, alinéa 2 - page 5, alinéa 3 * * figure *	1,7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
			F25J
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 26 Septembre 1994	Examinateur Siem, T
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)